

Kimmo Kuusela

**TAITORAKENNEREKISTERIN TIETOSI-  
SÄLLÖN LAAJENTAMINEN JA YLLÄPI-  
TOMALLIN LAATIMINEN**  
Suunnittelijan näkökulma

Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Diplomityö  
Tammikuu 2019

## TIIVISTELMÄ

**KIMMO KUUSELA:** Taitorakennerekisterin tietosisällön laajentaminen ja ylläpitomallin laatiminen. Suunnittelijan näkökulma  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 56 sivua  
Tammikuu 2019  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Rakennesuunnittelu  
Tarkastaja: Professori Anssi Laaksonen

Avainsanat: sillat, taitorakennerekisteri, omaisuudenhallinta, tietomalli, siirtomalli, IFC

Liikenneviraston siltojen tietojen tallennukseen käyttämän uuden järjestelmän, Taitorakennerekisterin, käyttöönotto on avannut uusia mahdollisuuksia kehittää sen ympärille rajapintoja, joilla voidaan hyödyntää avoimia tiedonsiirtoformaatteja tiedonsiirrossa ja tallennuksessa. Nykyisellään tiedot silloista kirjataan järjestelmään manuaalisesti kopioimalla tietosisältö kohteen suunnitelma-asiakirjoista, vaikka suuri osa tiedosta olisi ollut saatavilla suoraan tietomallissa. Tällä toimintatavalla jätetään hyödyntämättä merkittävä osuus tietomallintamisella saadusta hyödystä siirryttäessä suunnittelusta ylläpitoon. Kun rakennettavan kohteen tietosisältö siirtyy Taitorakennerekisteriin suoraan avoimessa tiedonsiirtomuodossa olevan validoidun siirtomallin kautta, voidaan varmistua tarpeellisen tiedon säilymisestä. Samalla karsitaan ylimääräisiä välivaiheita ja minimoidaan riskit virheille, joiden toteutumisesta manuaalinen kirjaus voi edesauttaa. Tietomallien laajempi hyödyntäminen tiedon siirtämisessä Taitorakennerekisteriin, on seuraava looginen askel kohti tehokkaampaa siltojen koko käyttöään laajuista hallintaa.

Tässä diplomityössä selvitettiin mallinnusohjelmistojen kykyä tuottaa Taitorakennerekisterin uudet tietosisältövaatimukset täyttäviä siirtomalleja. Mallien suurta tietosisältöä selkeyttämään, niille asetettiin lisätavoitteeksi Taitorakennerekisterin mukainen hierarkinen esitystapa jo IFC-tiedostojen tarkasteluohjelmistoissa. Diplomityössä kehitettyä tapaa aikaansaada hierarkinen esitystapa ja vaadittu tietosisältö siirtomalleihin, testattiin kolmella case-kohteella. Valituilla kohteilla pyrittiin kattamaan siltatyypiltään ja rakennusmateriaaliltaan laaja otos Suomen siltakannasta. Case-kohteet olivat jo ennestään suunniteltuja ja mallinnettuja siltoja, joten niihin lisättiin mallinnusohjelmistossa enää vain laajentunut tietosisältö ja rakenneosien välinen hierarkia. Natiivimallista tehtiin IFC-tulostus, jonka tietosisältö validoitiin. Validoitu tietosisältö on edellytys Taitorakennerekisterin rajapinnan kautta tapahtuvalle siirrolle. Seuraavassa vaiheessa siirtomallit viedään rajapintaan ja niiden kautta muodostetaan sillan rakennekuvaus ja geometriamalli, jotka toimivat yhdessä kohteen varhaisena ylläpitomallina Taitorakennerekisterissä. Diplomityön tutkimusosuus rajattiin validoituun siirtomalliin, joka on samalla suunnittelijan vastuualueen raja Taitorakennerekisterin sillan ylläpitomallin perustamisesta. Tutkimuksen kautta annettiin ehdotukset toimivista tavoista tehdä uusien vaatimusten mukaisia siirtomalleja sekä avattiin näiden vaatimusten tuomia uusia haasteita suunnittelutyölle ja suunnitteluohjelmistoille.

## ABSTRACT

**KIMMO KUUSELA:** Expanding the information content of bridge management system and elaborating the maintenance model. The perspective of civil engineer  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 56 pages  
January 2019  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
Major: Structural Design  
Examiner: Professor Anssi Laaksonen

**Keywords:** bridges, bridge management system, asset management, information model, transfer model, IFC

The deployment of The Finnish Transport Agency's new management system for bridges and other demanding structures has brought out the options to develop the system through various interfaces which work through BIM (building information model). To ensure smooth flow of the information through these interfaces is smooth all the data should be open and most preferably standardized. Currently, the data from bridge planning is transferred to the system by copying it from drawings or from other project documents. While proceeding this way, a large part of the information from the models is lost when shifting from the planning process to maintenance. When the data content of a bridge model is moved via a validated transfer model in a standardized open format the process is more reliable, and the probability of data loss is minimized. The wider adaptation of building information models in data transfer is the next logical step towards more efficient lifecycle management of bridges.

The purpose of this thesis was to figure out how well the modeling software used in bridge planning can produce transfer models which meet the increased data requirements set by the new management system. To improve the readability of the transfer models they were in addition required to have a hierarchical appearance in the IFC viewer as well. The quality assurance was made with three different case bridges. These bridges cover a comprehensive take from all the new bridges built in Finland when structure type and material is considered. The case bridges were already planned and modeled so only the hierarchy and increased data content was added to them. The IFC export was made from the native model and its data content was validated in each case. Validated data content is a prerequisite for successful transfer through the interface of the asset management system. In the next phase, the transfer models are taken into the interface and a part of the bridges database and a geometrical model is formed with them. The research part of the thesis was limited to the validated transfer model. The interface of the management system was developed in another project. The research provided suggestions on how to make new type of transfer models. It also uncovered some of the challenges engineers might have in the process.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan diplominsinöörin tutkintoa. Diplomityö oli osa laajempaa tutkimus- ja kehitystyötä, jota tehtiin Liikenneviraston Taitorakennerekisterin kehitykseen liittyen. Diplomityö on tehty Destia Oy:ssä. Diplomityön on rahoittanut Liikennevirasto.

Suuri kiitos kaikille projektityöryhmän jäsenille, johon kuului diplomityön ohjaaja Jussi Hämäläinen (Vr Track Oy), Heikki Myllymäki (Liikennevirasto), Noora Tantarimäki (Solita Oy) sekä Sakari Lehtinen (Datacubist Oy). Kiitokset myös kaikille haastateltaville, jotka auttoivat laajentamaan näkemystä rakennetun omaisuudenhallinnasta niin Suomessa kuin Ruotsissa ja Norjassakin.

Tampereella, 31.1.2019



Kimmo Kuusela

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....	2
1.3	Tutkimuksen suorittaminen.....	2
1.4	Tutkimuksen tulokset.....	3
2.	RAKENNETUN OMAISUUDENHALLINTA .....	4
2.1	Liikennevirasto omaisuuden haltijana .....	4
2.1.1	Taitorakennerekisteri.....	5
2.1.2	Ohjeet tietomallinnukseen .....	6
2.2	Omaisuudenhallinnan standardit .....	9
2.3	Omaisuudenhallinta Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa .....	11
2.4	Tiedonsiirto ja omaisuudenhallinta .....	13
3.	TAITORAKENNEREKISTERIN TIETOSISÄLLÖN LAAJENTAMINEN .....	15
3.1	Prosessin kuvaus.....	15
3.2	Tietosisällön lisääminen.....	17
3.3	Tietosisältö eri suunnitteluvaiheissa .....	18
3.3.1	Esisuunnittelu .....	19
3.3.2	Yleissuunnittelu .....	20
3.3.3	Siltasuunnittelu .....	20
3.3.4	Rakennussuunnittelu .....	21
3.4	Rakennehierarkia .....	24
3.5	Validoitu siirtomalli.....	30
3.6	Rajapinta .....	32
3.7	Ylläpitomalli.....	33
4.	SIIRTOMALLIEN PILOTOINTI.....	34
4.1	Käytetyt ohjelmistot.....	34
4.2	Case-kohteet.....	35
4.2.1	Case 1: Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta (jBjp) .....	37
4.2.2	Case 2: Teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta (Bjul).....	40
4.2.3	Case 3: Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II).....	41
4.3	Mallinnusohjelmistojen kehitystarpeet .....	43
4.3.1	Tietosisällön laajentaminen .....	43
4.3.2	Rakennehierarkian muodostaminen.....	44
4.3.3	Siirtomallien tulostus ja tietosisällön karsiminen .....	45
4.3.4	Mallinnustarkkuuden karsiminen .....	47
5.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
	LÄHTEET .....	53

## KUVALUETTELO

Kuva 1.	Uusi Liikenne- ja viestintäministeriö (Liikennevirasto 2018).	4
Kuva 2.	Sillan (tai muun taitorakenteen) suunnittelun lähtöaineisto (Liikennevirasto 2014b s. 21).	7
Kuva 3.	Inframallinnuksen luovutusaineiston muodostuminen vaiheittain (Liikennevirasto 2017a s. 35).	8
Kuva 4.	Väylämalli ohjaa suunnittelua ja muiden osamallien tekoa (BuildingSMART 2015b s. 4).	9
Kuva 5.	Keskeisten käsitteiden väliset suhteet (muokattu lähteestä SFS-ISO 55000 2014 s. 14).	10
Kuva 6.	Yleiskuva IFC-standardin eri osista ja niiden riippuvuuksista (buildingSMART-Tech 2018).	14
Kuva 7.	Prosessin kuvaus (muokattu lähteestä Taitorakennerekisteri 2018).	15
Kuva 8.	Tekla Structures 2017i version elementtityypit Export to IFC - työkalussa.	16
Kuva 9.	Attribuuttitiedon poimiminen ja nimeäminen.	17
Kuva 10.	Ulokelaattasillan päällysrakenteen rakennehierarkia (muokattu lähteestä Taitorakennerekisteri 2018).	25
Kuva 11.	Välituen kokoonpano.	27
Kuva 12.	Välituen rakennehierarkia.	27
Kuva 13.	Välituen tietosisältö.	28
Kuva 14.	Inventointisuunnan kautta muodostettava sijainti.	29
Kuva 15.	Validoitu tietosisältö.	31
Kuva 16.	Suunnitellut sillat päärakennusmateriaalin mukaan.	35
Kuva 17.	Suunnitellut sillat rakennetyypeiltään.	36
Kuva 18.	Suunnitellut sillat staattisen rakenteen mukaan.	36
Kuva 19.	Siltapaikan määrittäminen (Liikennevirasto 2014b s.19).	37
Kuva 20.	Case 1: jBjp standardikuvauksen laajuudessa.	38
Kuva 21.	Case 1: jBjp ilman siltapaikan rakenteita.	38
Kuva 22.	Case 1: jBjp Kansilaatan jakaminen osiin.	39
Kuva 23.	Case 2: Bjul standardikuvauksen laajuudessa.	40
Kuva 24.	Case 2: Bjul ilman siltapaikan rakenteita.	40
Kuva 25.	Case 3: Bkl II standardikuvauksen laajuudessa.	42
Kuva 26.	Case 3: Bkl II ilman siltapaikan rakenteita.	42
Kuva 27.	Alasvetovalikko betonin suojausmenetelmille Taitorakennerekisterissä (Taitorakennerekisteri 2018).	44
Kuva 28.	Elementtityypin muuttaminen TS 2017i.	47
Kuva 29.	Tarkkuustasoesimerkki kaiteelle (Vinter 2017 s. 72).	48
Kuva 30.	Pulttiryhmän alkuperäinen ja korjattu tarkkuus tietomallissa.	48
Kuva 31.	Pulttiryhmän alkuperäinen ja korjattu tarkkuus Excel-luettelona.	49

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
Attribuutti	Mallinusobjektin ominaisuustieto
BIM	Rakennuksen tietomalli (Building Information Model)
buildingSMART	Kansainvälinen organisaatio, jonka tavoitteena on kehittää ohjelmistojen välistä tiedonsiirtoa rakennusalaalla avoimien standardien kautta
EN	Eurooppalaisen standardisoimisjärjestön vahvistama standardi
GUID	Mallinusobjektin kansainvälinen yksilöintitunnus (Globally Unique Identifier)
IFC	Kansainvälinen ohjelmistovalmistajasta riippumaton tiedonsiirtoon kehitetty tiedostomuoto (Industry Foundation Classes)
Inframalli	Infrarakenteen tietomalli
Inframodel	LandXML-tiedonsiirtostandardiin perustuva kansallinen tiedonsiirtoformaatti
Inventointisuunta	Suomen teosien numeroinnin kasvava suunta
ISO	Kansainvälisen standardisoimisjärjestön vahvistama standardi (International Organization for Standardization)
KU	Kokonaisurakka
LandXML	XML-pohjainen tiedonsiirtostandardi
LoD	Tietomallin sisällön ja luotettavuuden arvioitiin käytettävät tasot (Level of Development)
Metatieto	Mallin rakenneosaa kuvaileva liitännäistieto (esim. betonin lujuus)
Natiivimalli	Ohjelmistokohtainen alkuperäinen tietomalli
Paalutussuunta	Tieosalle suunnitteluvaiheessa määritetty numeroinnin kasvava suunta (Huom! Voi poiketa inventointisuunnasta)
Palveluntuottajat	Urakoitsijat ja konsultit
SFS	Suomen Standardisoimisliiton hyväksymä standardi
Siirtomalli	Mallinusohjelmiston natiivimallista tulostettu IFC-malli
Siltarekisteri	Liikenneviraston jo käytöstä poistettu siltojen perustietovarasto
Skeema	Koodin tietosisällön määrittely (Schema)
ST	Suunnittele ja toteuta -urakka
Taitorakenne	Liikenneväyläverkon rakenne, jonka rakentamiseksi on laadittava lujuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat ja jonka rakenteellinen vaurioituminen saattaa aiheuttaa vaaran ihmisille tai liikennejärjestelmälle ja/tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle
Taitorakennerekisteri	Liikenneviraston ylläpitämä taitorakenteiden tietovarasto
Tietomalli	Yleisnimitys digitaalisessa muodossa olevalle mallille, jolla on tietosisältöä
Tuotemalli	Tietomallista tuotettu kohteen digitaalinen suunnitelma
Validointi	Mallin tarkastus ja soveltuvuuden todennus ennalta määrättyjen ehtojen mukaiseksi
Yhdistelmämalli	Eri tekniikkalajien digitaalisten mallien yhdistelmä
YIV	Yleiset inframallivaatimukset
Ylläpitomalli	Kohteen ylläpidon aikana hyödynnettävä digitaalinen malli
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suomen rakennetun ympäristön taitorakenteet vaativat jatkuvaa seurantaan ja ylläpitoa koko niiden pitkän käyttöiän, jotta voidaan olla jokainen hetki varmoja niiden kunnosta ja sen myötä saavutettavasta käyttöturvallisuudesta. Siltojen, ja jatkossa myös muiden vaativien rakenteiden, tietojen tallentamisessa käytettävää järjestelmää kutsutaan nimellä Taitorakennerekisteri. Järjestelmän omistuksesta ja hallinnoimisesta vastaa Liikennevirasto. Aikaisemmin käytössä olleen Siltarekisterin ongelma oli, että sitä käytettiin lähinnä siltojen tietovarastona ei niinkään siltojen hallintajärjestelmänä. Koska Siltarekisteriin tallennetulle tiedolle ei suoritettu validointia, saattoi se usein olla puutteellista. Tietoa oli myös vaikeaa hakea ja hyödyntää suodatustoimintojen puutteellisuuden vuoksi. Siltarekisteri oli kuitenkin aikaansa suhteutettuna edistyksellinen järjestelmä, mutta kehitys vaati uuden järjestelmän käyttöönoton.

Siltojen hallintajärjestelmillä mahdollistetaan niiden ylläpito koko elinkaaren ajan. Pitkälle kehitettynä, niissä yhdistyvät tiedot siltojen suunnitelmista, kantavuudesta ja kustannuksista. Ne myös tarjoavat työkalut siltojen kunnan seurantaan ja tätä kautta siltojen suunnittelun ja rakentamisen kehitykselle. Huonosti toimivat suunnitteluratkaisut ja rakentamisessa käytettävät tuotteet voidaan karsia jatkossa pois tehokkaammin, kun hallintajärjestelmän kautta tehdään laajoja kartoituksia ongelmakohteiden koko elinkaaren osalta. Rakennuskustannuksiltaan edullinen tai rakennusajaltaan nopeasti toteutettava silta, ei ole välttämättä elinkaaritasollaan edullinen silta ylläpitää. Laaja järjestelmällisesti kasattu validi tietosisältö yhdistettynä toimiviin hakutoimintoihin, auttaa selvittämään ongelman juuren ja jättää tätä kautta vähemmän sijaa arvailulle. (Duan 2015.)

Keskeinen haaste rakennetun omaisuudenhallinnassa on tällä hetkellä, että uusi tekniikka on mahdollistanut tiedon keräämisen useista eri lähteistä digitaalisessa muodossa, mutta sen hyödyntämisestä ei saada vielä täyttä potentiaalia irti. Vakioitu ja vuorovaikutteiden tiedon organisoiminen on edellytys toimivaan riskejä ennakkoivaan omaisuuden hallintaan. (Parlikad & Jafari 2016 s. 187.) Toinen suuri haaste on useiden eri omaisuuden hallintajärjestelmien käyttäminen ja näiden järjestelmien yhteensovittaminen. Tietoa tallennetaan rakennetusta omaisuudesta useisiin eri järjestelmiin, mutta koska järjestelmiä ei saada keskustelemaan toistensa kanssa, tulee tiedon kokonaisuuden hallinnasta työlästä, ellei jopa mahdotonta.



## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Taitorakennerekisterin kehitysprojekti, jonka osa tämä diplomityö on, perustuu Liikenneviraston tavoitteeseen laajentaa Taitorakennerekisterin sisältöä automatisoidusti muun muassa siltojen tietomalleilla. Tarpeen automatisoinnille on luonut järjestelmään tallennettava yhä kasvava suuri tietomäärä niin kohteen tietokannan perustamisvaiheessa, rakentamisvaiheessa kuin ylläpidossakin. Jotta tieto saadaan siirtymään näissä vaiheissa sujuvasti, vaatii se tallennettavan tiedon normalisointia Taitorakennerekisterin vaatimusten mukaiseksi. Tietomalleilla pyritään tässä yhteydessä mahdollistamaan uusia toimintatapoja käyttää rekisteriä sekä tehostaa sen käyttöä sillan elinkaaren aikana. Uusilla toimintatavoilla siirretään osa Taitorakennerekisterin tietosisällön laajentamisen vastuusta suunnittelijalle, jolla on sen hetkinen paras tietämys kohteesta. Tässä tutkimuksessa selvitetään, kuinka uudet vaatimukset voidaan nykyisillä suunnittelijan työkaluilla täyttää. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään osittain uuden tietomalliohjeen valmistelussa. (Liikennevirasto 2014a s.36; Myllymäki, H. 2018.) Tiedonsiirron automatisoinnilla karsitaan prosessin muuttujia, millä saavutetaan pienempi todennäköisyys virheille siirrettäessä tietoa suunnitelmista rekisteriin. Diplomityön osuus tässä kehitysprojektissa oli aikaansaada avoimessa tiedonsiirtomuodossa siirtomalli, jolla voidaan muodostaa Liikenneviraston Taitorakennerekisteriin automatisoidusti osa kohteen ylläpitomallin tietokannasta ja geometriamalli, joita hyödynnetään kohteen ylläpidon aikaisessa toiminnassa. Siirtomallin geometrinen laajuus rajattiin Liikenneviraston ohjeiden pohjalta sisältämään vain silta- paikka. Silta paikan rakenteita, kuten väylät, luiskat ja maanpinta, on esitetty vain sillan rakentamisen ja ylläpidon kannalta merkityksellisellä laajuudella. Silta paikan geotekniikkaa on esitetty vain tapauksissa, joissa se oli alkuperäiseen tietomalliin mallinnettu. Koska Taitorakennerekisteriä ei ole kehitetty IFC-standardin (Industry Foundation Classes) pohjalle, joka oli tässä työssä käytettävä avoin tiedonsiirtoformaatti, täytyy siirtomallin ja rekisterin väliin kehittää rajapinta, joka poimii mallista oleellisen tiedon ja muuntaa sen siihen muotoon, joka soveltuu Taitorakennerekisteriin. IFC valittiin käytettäväksi tiedonsiirtoformaatiksi, koska se on jo yleisesti rakennus alalla käytössä ja sillä saadaan siirrettyä mallinnettujen osien tietosisältö ja geometria samassa mallissa. Rajapinnan kehitys ei ollut osa diplomityötä, vaan sen toteutus tehdään muiden asiantuntijoiden puolesta. Tämän tutkimuksen tulokset ovat ohjanneet omalta osaltaan rajapinnan kehitystä.

## 1.3 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimuksen suorittaminen jakautui kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisenä tehtiin pohdintaa omaisuuden hallinnasta yleisellä tasolla. Tätä varten perehdyttiin omaisuuden hallinnan standardeihin, Liikenneviraston ohjeistuksiin, avoimiin tiedonsiirron formaatteihin sekä Suomen, Norjan ja Ruotsin rakennetun omaisuuden hallintaan. Seuraavassa vaiheessa otettiin käyttöön työkalut, joita prosessin suorittamiseen tarvitaan. Prosessi sisäl-

tää vaiheet, jotka suunnittelijan tulee jatkossa hallita, kun tuotetaan Taitorakennerekisterin rajapintaan soveltuvaa aineistoa. Tämä tutkimuksen vaihe sisälsi paljon yrittämisen ja erehdyksen kautta tehtävää kehitystä, jolla selvitettiin käyttöönotettavan toimintatavan edut ja haitat sekä muut vaihtoehtoiset tavat toteuttaa prosessi. Kolmannessa vaiheessa tehtiin valitun toimintatavan laadunvarmistus kolmella case-kohteella. Näissä case-kohteissa havaittujen ongelmien ja haasteiden pohjalta muutettiin ja kehitettiin aikaisemman vaiheen toimintatapoja. Case-kohteet viedään myöhemmässä vaiheessa tämän tutkimuksen aikana vielä kehitysvaiheessa olleeseen Taitorakennerekisterin rajapintaan, jonka jälkeen tehdään tarvittaessa vielä kertaalleen muutoksia toimintatapoihin.

## **1.4 Tutkimuksen tulokset**

Diplomityön tuloksena saatiin kolmen case-kohteen siirtomallit, joilla testataan rajapinnan kautta tehtävää Taitorakennerekisterin tietosisällön laajennusta. Kohteiden siirtomallit tulevat jatkossa toimimaan esimerkkeinä suunnittelijoille myöhemmin tehtävien siirtomalliohjeiden lisänä. Tutkimuksen pohjalta havaittiin lisäksi kehityksen kohteita tietomallinnuksessa sekä siinä käytettävissä ohjelmistoista. Kehitysideat liittyvät ensisijaisesti tietomallien tietosisällön selkeyttämiseen, tiedon laadun varmistamiseen ja ylimääräisen tiedon karsimiseen.

## 2. RAKENNETUN OMAISUUDENHALLINTA

### 2.1 Liikennevirasto omaisuuden haltijana

Liikennevirasto on asiantuntijaorganisaatio, jonka vastuualueena on Suomen tiet, rautatiet ja vesiväylät. Sen tehtäviin kuuluu Suomen liikennejärjestelmän ylläpito ja kehittäminen. Liikenneviraston tekee tiiviisti yhteistyötä palveluntuottajien kanssa tuottaakseen laadukasta ohjeistusta taitorakenteiden elinkaarien eri vaiheisiin. Palveluntuottajien tulee olla aina tietoisia, että käytössä on ohjeiden uusin versio. Uusimmat ohjeet ovat noudettavissa Liikenneviraston internetsivuilta kohdasta Ammattilaiselle-Palveluntuottajat-Ohjeluetelo. Liikennevirastolla on parhaillaan (2016-1018) meneillään kaksi vuotinen digitalisaatiohanke, jonka tavoitteena on uudistaa muun muassa väylätietojen tuottaminen, ylläpitäminen ja jakelu. Digitalisaation avulla saadaan ajantasaisempaa tietoa väylien kunnosta, käytettävyydestä ja käytöstä. Hanke sisältää tie- ja rataverkkojen kunnossapidon ja ylläpitojärjestelmien kehittämisen. (Liikennevirasto 2018.)

Vuoden 2019 alussa Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonala tulee uudistumaan, kun Viestintävirasto ja Trafi yhdistyvät (kuva 1). Uudistuksen yhteydessä Liikenneviraston nimi muuttuu Väylävirastoksi. Muutoksella pyritään vastaamaan toimintaympäristön muutoksiin ja huomioimaan asiakkaiden tarpeet paremmin. Liikennevirastolta siirretään tässä yhteydessä toisalle kaikki ne tehtävät, jotka eivät liity suoraan väylänpitoon. Uusi Väylävirasto keskittyy tie-, rata- ja meriliikenteen väyläverkon suunnitteluun, kehittämiseen ja kunnossapitoon sekä liikenteen ja maankäytön yhteensovittamiseen. (Liikennevirasto 2018.)



**Kuva 1.** Uusi Liikenne- ja viestintäministeriö (Liikennevirasto 2018).

### 2.1.1 Taitorakennerekisteri

Taitorakennerekisteri on siltojen ja muiden taitorakenteiden tietovarasto. Se on keskeinen osa taitorakenteiden hallintajärjestelmää (Liikennevirasto 2011 s. 218). Sinne tullaan jatkossa tallentamaan yhä laajemmin tietoa muun muassa silloista, tunneleista, rautatie- rummuista, merimerkeistä, tie- ja yhteysaluslaitureista sekä kanavarakenteista. Liikenneviraston lisäksi tietokantaa voivat laajentaa kunnat omien kohteidensa tiedoilla. (Liikennevirasto 2018 s. 4.) Siltakohteen tiedot jaetaan siellä viiteen kategoriaan: perustiedot, kunto ja tapahtumat, rakennetiedot, kuvat ja dokumentit. Perustiedoissa on yleistä tietoa sillasta, siltapaikasta ja väylistä. Kunto ja tapahtumat -kohdan alle tallennetaan sillalle tehtyt tarkastukset ja korjaukset. Rakennetietojen alla on kohteen rakennekuvaus, jonka sisältö pyritään tämän tutkimuksen kautta muodostamaan suoraan rajapinnan kautta. Rakennekuvaus sisältää kaiken kohteen rakenneosia kuvaavan tiedon. Kohteiden rakenneosat on esitetty siinä toistensa suhteen hierarkisesti. Kuviin voidaan tallentaa kohteen siltapaikkakäynneiltä otettuja valokuvia. Dokumentteihin on tallennettu sillan kaikki suunnitelmapiirustukset. (Taitorakennerekisteri 2018.) Teoriassa kaikki Taitorakennerekisterin tietosisältö voitaisiin tuoda sisään järjestelmään sen ympärille kehitettyjen rajapintojen kautta. Kaikki kohteen tiedot yhdessä muodostavat sen elinkaaren aikana kehittyvän tietokannan, jota kutsutaan nimellä ylläpitomalli. Siltarekisteri oli Taitorakennerekisterin edeltäjä, johon tallennettiin maantie- ja rautatiesiltojen sekä laitureiden perustietoja sekä vauriokirjaukset ja kuntotiedot (Liikennevirasto 2011 s. 15).

Perusteet Taitorakennerekisterille on kirjoitettu vuonna 2011 julkaistuun selvitykseen. Se käsitteli taitorakenteiden hallintajärjestelmää, jonka osa Taitorakennerekisterikin on. Siinä määritellään rekisterille neljä pääkäyttäjäryhmää: pääkäyttäjä, ylläpidon suunnittelija, ohjelmoija ja korjaussuunnittelija. Pääkäyttäjällä on mahdollisuus valvoa ja hallinnoida kaikkea järjestelmän käyttöä. Ylläpidon suunnittelu on sidoksissa tulosohtaukseen. Ylläpidon suunnittelijan tehtävänä on käyttää järjestelmää apunaan selvittämään, kuinka ylläpitoa voitaisiin tehdä laajemmassa kuvassa. Ohjelmoijan tehtävänä on suunnitella alueellisia korjaus- ja uusimisohjelmia. Korjaussuunnittelija tekee Taitorakennerekisterin tietokantaa apunaan käyttäen korjaussuunnitelmat taitorakenteille. (Liikennevirasto 2011 s. 38-42.) Tämän tutkimuksen kautta tehtävä kehitystyö palvelee ennen kaikkea korjaussuunnittelijaa. Korjauskohteiden laajentunut tietosisältö helpottaa ongelmien syiden paikantamista ja geometriamalli vaurioiden kirjaamista. Korjaussuunnittelijan tulee käydä Liikenneviraston järjestämä Taitorakennerekisterin koulutus ja suorittaa siihen liittyvä loppukoe ennen kuin saa oikeudet järjestelmän käyttämiseen ja kirjausten tekemiseen (Taitorakennerekisteri 2018).

Liikennevirasto on antanut Taitorakennerekisteriin vietäville taitorakenteiden suunnitelma-aineistoille ja hallinnollisille dokumenteille ohjeistuksen Taitorakenteiden tiedon käsittely 36/2018 -ohjeessa. Sen tavoitteena on parantaa tiedon ja dokumenttien tallennusprosessia. Ohje siirtää tiedon siirtämisen vastuun hankkeeseen ryhtyvälle. Hankinta-

muodot on jaoteltu kokonaisurakkaan (KU), suunnittele- ja toteuta urakkaan (ST), elinkaarihankkeeseen sekä allianssi hankkeeseen. Jokaisessa urakkamuodossa on jaoteltu erikseen vastuulliset osapuolet tiedon viemiselle Taitorakennerekisterin tietokantaan sekä vaiheet, jolloin kohteiden tiedot on oltava järjestelmässä. (Liikennevirasto 2018 s. 7-10.)

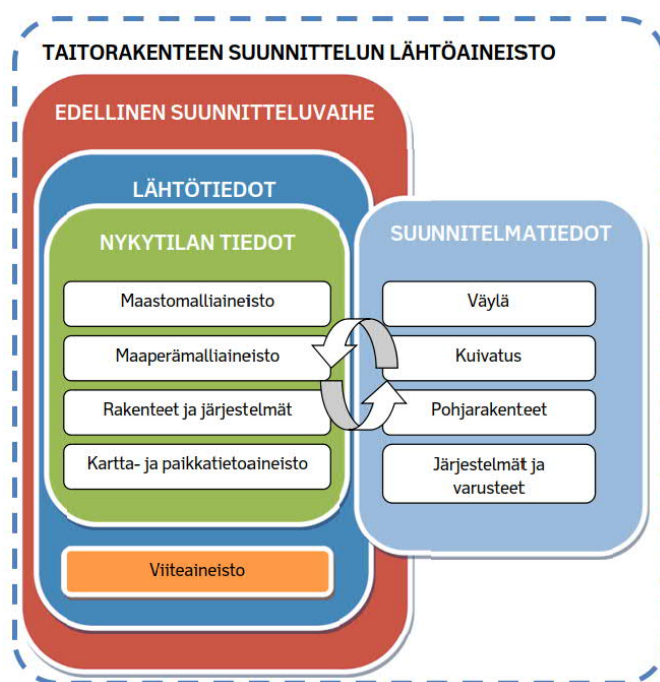
## 2.1.2 Ohjeet tietomallinnukseen

Liikenneviraston vaatimusten mukaisen tietomallinnetun siltakohteen suunnitteluun on saatavilla kaksi keskeistä ohjetta. Näillä ohjeilla pyritään varmistamaan suunniteltavista silloista tuotettujen IFC-mallien vaatimukset täyttävä laatu myöhempää käyttöä taustalla ajatellen. Ensimmäinen ohje keskittyy kohteen lähtötietoihin ja toinen suunnitteluun. Molemmissa ohjeissa on asetettu eri tasoisia vaatimuksia pohjautuen suunnitteluvaiheeseen. Ohjeissa määritellään suunnittelijalle riittävät tarkkuustasot suunnittelulle, jotta tietomalleissa on vain kyseisen suunnitteluvaiheen edellyttämää tietoa. Ohjeiden pyrkimyksenä on varmistaa vaatimukset täyttävä tietomallintamisen taso huolimatta siitä, kuka kohteen suunnittelijana toimii. (Liikennevirasto 2014b s. 21.) Liikennevirasto on julkaissut aikaisemmin mainittujen lisäksi tietomallinnettuihin infrahankkeisiin ohjeen, joka keskittyy niiden prosessin läpivientiin, mallipohjaisen aineiston tarkastukseen ja luovutettaviin sähköisiin aineistoihin. Sen tavoitteena on selkeyttää hankkeen eri osapuolien ymmärrystä kokonaisuudesta. (Liikennevirasto 2017a s. 3.) Ohjeiden lisäksi rakennushankkeelle voidaan määritellä kohdennettuja vaatimuksia, jotka kirjataan hankkeen tietomalliasiakirjoihin (Liikennevirasto 2014a s. 13). Tietomalliasiakirjoissa asetetut vaatimukset ovat määräävyysjärjestyksessä ylimmällä tasolla. Tietomallinnettujen kohteiden vaatimustasoihin voidaan antaa lievennyksiä muun muassa korjauskohteissa, joissa lähtötiedot voivat olla puutteellisia (Liikennevirasto 2014a s. 51). Mikäli tietomallinnetun rakennushankkeen tilaajana toimii kaupunki tai kunta, voivat he antaa omat vaatimuksensa tai ohjeensa tietomallintamiselle (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2014). Liikenneviraston ohjeiden lisäksi, tietomallipohjaisille infrahankkeille on annettu ohjeistusta BuildingSMART Finlandin julkaisemassa Yleiset inframallivaatimukset -ohjeessa (YIV).

Liikenneviraston tilaaman rakennushankkeen tietomallintamista ohjaavien asiakirjojen määräävyysjärjestys on seuraava (Liikennevirasto 2014b s. 10; Liikennevirasto 2017a s. 12):

1. Hankekohtaiset tietomalliasiakirjat
2. Liikenneviraston tietomallinnuksen ohjeet
  - a. Siltojen tietomalliohje
  - b. Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje
  - c. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje
3. Muut ohjeistus
  - a. Yleiset inframallivaatimukset
  - b. InfraBIM-nimikkeistö.

Siltojen ja taitorakenteiden suunnittelun lähtökohtana on oleellisen ja ajantasaisen lähtötiedon esittäminen siltapaikalla. *Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohjeessa* määritellään lähtöaineisto kolmeen tasoon: lähtötiedot, aikaisemmat suunnitelmat sekä muiden tekniikkalajien suunnitelmat (kuva 2). Lähtötiedot koostuvat maastomalliaineistosta, maaperämalliaineistosta, rakenteista ja järjestelmistä sekä kartta- ja paikkatietoaineistosta. Aikaisemmat suunnitelmat sisältävät varhaisemman suunnitteluvaiheen aineistoa sillasta. Muiden tekniikkalajien suunnitelmat sisältävät aineistoa muun muassa väylästä, pohjarakenteista, kuivatuksesta ja varusteista. Lähtötietoja voidaan myös täydentää suunnittelun kannalta oleellisella viiteaineistolla. Viiteaineistossa voi sisältää tietoa esimerkiksi YVA-selvityksistä (ympäristövaikutusten arviointimenettely), vesiväylän aukko-vaatimuksista ja maastokäynneistä. (Liikennevirasto 2014b s.21-26.) Lähtötietojen suunnitelmatietoihin voi tulla muutoksia vielä suunnittelun edetessä. Suunnittelijan tulee varmistaa, että käytössä on aina uusin aineisto. Eri tekniikkalajien tietomalleissa olevat virheet voidaan havaita niistä muodostetusta yhdistelmämallista.

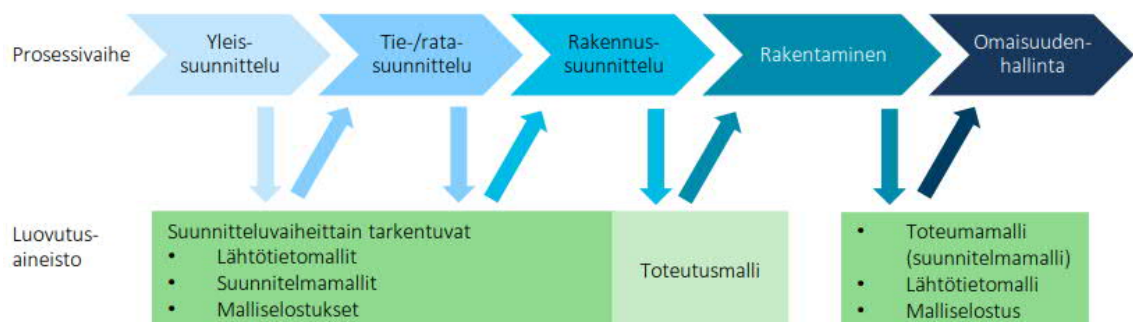


**Kuva 2.** Sillan (tai muun taitorakenteen) suunnittelun lähtöaineisto (Liikennevirasto 2014b s. 21).

Verrattuna Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohjeeseen, *Siltojen tietomalliohje* keskittyy tarkemmin kohteen suunnitteluun ja lopputuotteeseen. Siinä on annettu yksityiskohtaiset vaatimukset tuotemallin tarkkuustasolle jokaisessa suunnitteluvaiheessa. Varhaisissa suunnitteluvaiheissa tuotemallia käytetään vain kohteen havainnollistamiseen tai karkeaan kustannusten arviointiin. Rakennussuunnitteluvaiheessa tuotemallin vaatimukset ovat tarkimmat. Siltojen tietomalliohje myös ohjeistaa suunnittelijaa, kuinka tehdä ja hyödyntää toteutusmalleja, ylläpitomalleja sekä korjausrakentamisessa käytettäviä tietomalleja. Toteutusmallit ovat sillan rakenneosien hankinnassa sekä sillan rakentamisen osavaiheissa hyödynnettäviä malleja. Ylläpitomallissa on kaikki sillan ylläpidon

kannalta merkittävät rakenteet ja siltapaikan ympäristö. Korjausrakentamisessa käytettävät tietomallit eroavat hieman mallinnusvaatimuksiltaan uudiskohteista, niissä riittää toisinaan vain mallinnus niiltä osin, joilta ne korjataan. Siltojen tietomalliohjeessa on esitetty lisäksi tietomalleihin liittyvät asiakirjat sekä mallien luovutus eteenpäin. Tärkein tietomalleihin liittyvä asiakirja on tietomalliselostus, jossa kerrotaan, mitä tietomalli sisältää. (Liikennevirasto 2014a s. 5, 10, 19, 30, 33, 36, 51, 54.)

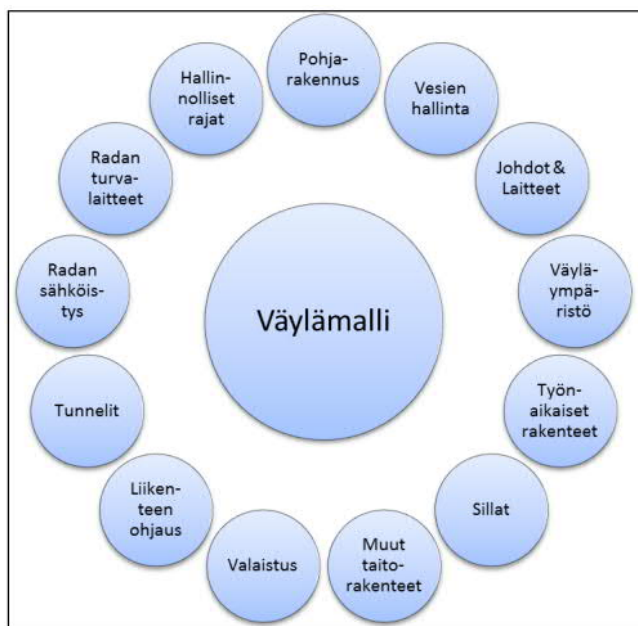
*Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje* keskittyy ohjaamaan mallinnettujen tie- ja ratahankkeiden toimintatapoja hankkeen läpivientiä tukevalla tasolla, sitä voidaan tästä huolimatta soveltaa myös toisen tyyppisissä hankkeissa. Ohjeen tavoitteena on edesauttaa säilyttämään jo kertaalleen tallennettu tieto siirryttäessä hankkeen elinkaaren aikana hankevaiheesta toiseen sekä ohjeistaa, kuinka eri hankevaiheissa tuotettavaa luovutusaineistoa tulisi tarkastaa. Siinä ei oteta yksityiskohtaisesti kantaa eri tekniikkalajien tietomallinnukseen tai sen tarkkuustasoon, vaan keskitytään ennen kaikkea tiedonsiirtoon näiden osapuolien välillä. Tietomallihankkeiden prosessiin pohjautuvalle Inframalliohjeelle on havaittu tarve, kun infra-alan suurimmat tilaajat ovat ilmaisseet pyrkimyksensä siirtyä tietomallipohjaiseen toimintatapaan hankkeissaan. Kuvassa 3 on esitetty eri hankevaiheiden ja niissä tuotettujen luovutusaineistojen välinen yhteys. (Liikennevirasto 2017a s. 3, 9, 10-12.)



**Kuva 3.** *Inframallinnuksen luovutusaineiston muodostuminen vaiheittain (Liikennevirasto 2017a s. 35).*

YIV painottuu ohjaamaan hanketta laajemmalla tasolla huomioiden kaikki tietomalleja siinä hyödyntävät osapuolet (kuva 4). YIV on jaettu 12 osaan, joissa käsitellään muun muassa infrahankkeiden mallinnusvaatimuksia, lähtötietoja, mallinnustarkkuutta, laadunvarmistusta sekä mallien hyödyntämistä. Siinä missä Liikenneviraston ohjeistukset asettavat vaatimuksia ennen kaikkea lopputuotteelle, YIV:ssä annetaan myös ohjeistusta siihen, kuinka tietomallipohjainen hanke saadaan toteutettua järjestelmällisesti ja laadukkaasti alusta loppuun (BuildingSMART 2015a s. 3). YIV:stä tulisi jokaisen mallipohjaiseen hankkeeseen osallistuvan tutustua ainakin osiin 1, 2 ja 8 (Liikennevirasto 2017a s. 12). Osassa 1 on käsitelty tietomallipohjaista hanketta, osassa 2 yleisiä mallinnusvaatimuksia sekä osassa 8 hankkeen laadunvarmistusta (buildingSMART Finland 2018). Siltasuunnittelijalle YIV tarjoaa lisätietoa ennen kaikkea lähtötietomallin, mutta myös eri tekniikkalajien nimikkeistöjen osalta (Liikennevirasto 2014b s. 9; BuildingSMART

2015c s. 4, 8). Nimikkeistöjen tuntemisesta on hyötyä, kun siltaa sovitetaan väyläympäristöön ja kun pyydetään lähtötietoja eri tekniikkalajien suunnittelijoilta sillan suunnitteluun.



**Kuva 4.** Väylämalli ohjaa suunnittelua ja muiden osamallien tekoa (BuildingSMART 2015b s. 4).

## 2.2 Omaisuudenhallinnan standardit

Poikkeuksena Liikenneviraston ohjeisiin, jotka asettavat yksityiskohtaisia vaatimuksia suunnittelun ja mallintamisen tasolle, standardit ohjaavat yleisemmällä tasolla omaisuudenhallintaa ja niihin liittyviä järjestelmiä. Standardeissa määritetään niiden soveltamisalaan liittyvä yleinen sanasto ja merkitykset näille. Standardien kontekstia tuntemattomalle, niiden sisältö voi olla haastavaa sisäistää. Monista esimerkiksi rakenteiden mitoituksissa käytettävistä standardeista on tehty helpommin lähestyttäviä sovellusohjeita Liikenneviraston toimesta. Standardeista voi olla saatavilla myös kansallisia liitteitä, joissa muutetaan kansainvälisellä tasolla annettuja vaatimuksia kyseisen maan tasolla paremmin sovellettaviksi. Standardien ja Liikenneviraston ohjeiden sanaston merkitykset voivat poiketa toisistaan, joten niitä tulkittaessa on otettava huomioon asiayhteys.

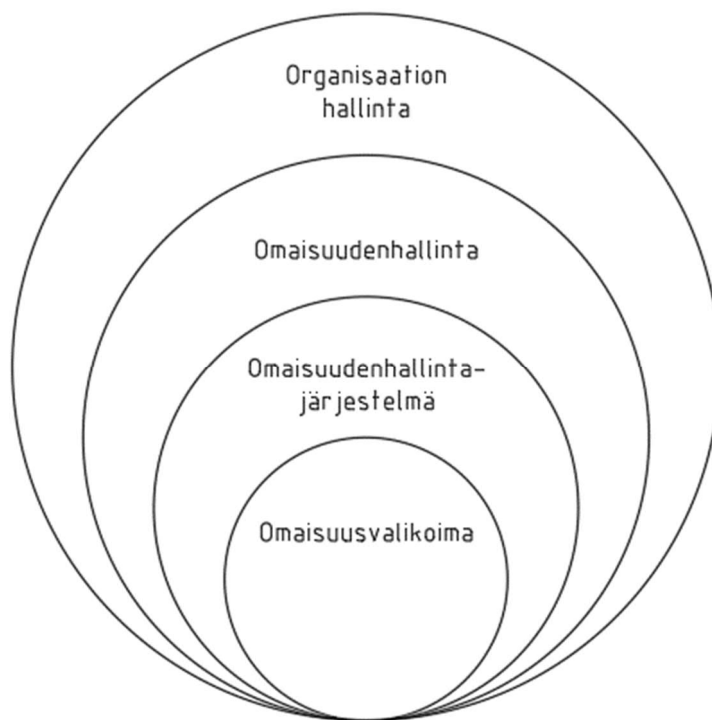
Omaisuudenhallinnan standardit ovat SFS-ISO 55000 -sarjassa. Tämän sarjan standardit on käännetty suomen kielelle ja ne ovat myös vahvistettu kansallisiksi standardeiksi. Suomen standardisoimisliitto on vastuussa standardien kansallistamisesta. Fyysisen omaisuudenhallinnasta ylläpidossa on kerrottu standardissa SFS-EN 16646. Kunnossapitoprosessi ja siihen liittyvät indikaattorit on kerrottu standardissa SFS-EN 17007.

ISO 55000 -standardi käsittelee yleisellä tasolla omaisuudenhallintaa ja siihen liittyvää sanastoa. Siinä kerrotaan, millaisia hyötyä omaisuudenhallinnalla voidaan saavuttaa, kun



kaikki siihen sidoksissa olevat osapuolet ovat selvillä vastuistaan. Standardi on laadittu ennen kaikkea ohjeistukseksi fyysisen omaisuudenhallintaan, mutta sitä voidaan soveltaa myös toisaalla. Standardin mukaan omaisuudenhallinta on organisaation koordinoitua toimintaa, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo. (SFS-ISO 55000 2014 s. 6, 8, 14.)

ISO 55000 -Standardissa kuvataan omaisuudenhallintaan liittyvien osakokonaisuuksien suhteita kuorimallilla (ns. sipulimalli), joka on esitetty kuvassa 5. Kuorimallin keskiössä *ominaisuusvalikoima*, joka tämän tutkimuksen kontekstissa on Liikenneviraston hallinnoima rakennettu omaisuus. Taitorakennerekisteriä voitaisiin standardin kontekstissa pitää tämän omaisuuden hallinnassa hyödynnettävänä työkaluna. Ominaisuusvalikoimaa hallitaan *omaisuudenhallintajärjestelmällä*, jonka tavoitteena on luoda omaisuudenhallintapolitiikka ja omaisuudenhallinnan tavoitteet. *Omaisuudenhallintaa* toteuttaa omalta osaltaan kohteen suunnittelija, jolla on vastuu ominaisuusvalikoiman omaisuuserän laadusta. Laajemmin omaisuudenhallintaa tekee tilaaja, joka ylläpitää omaisuudenhallinnan järjestelmää ja asettaa vaatimukset omaisuudenhallinnan tasolle. Edelliset kolme osa-aluetta sisältyvät *organisaation hallinnan* alle, joka sisältää kaikki prosessiin sidoksissa olevat toimijat. (SFS-ISO 55000 2014 s. 14, 38.)



**Kuva 5.** Keskeisten käsitteiden väliset suhteet (muokattu lähteestä SFS-ISO 55000 2014 s. 14).

ISO 55001 -standardi keskittyy omaisuudenhallintajärjestelmien perustamiseen, käyttöön, ylläpitoon ja kehittämiseen. Standardissa selvennetään, mitä kaikkia toimenpiteitä hyvin toimiva omaisuudenhallintajärjestelmä vaatii sen elinkaaren aikana mukana olevilta osapuolilta. (SFS-ISO 55001 2014 s. 6.) ISO 55002 -standardi ohjeistaa tarkemmin,

kuinka käyttää ISO 55001 -standardin mukaisesti toteutettua omaisuudenhallintajärjestelmää (SFS-ISO 55002 2014 s. 6).

EN 16646 -standardissa käsitellään fyysisen omaisuudenhallintaa kunnossapidon näkökulmasta. Standardissa perustellaan tarve ja saavutettava hyöty omaisuudenhallinnalle fyysisen omaisuuden elinkaaren aikana. Se myös ohjeistaa, millaista tietoa omaisuudenhallintajärjestelmän sisällä tulee siirtää elinkaaren eri osavaiheiden välillä. (SFS-EN 16646 2014 s. 4, 8, 14.)

EN 17007 -standardi käsittelee kunnossapitoprosessia ja siihen liittyviä indikaattoreita. Siinä jaetaan kunnossapitoprosessi johtamiseen, toteutukseen ja tukitoimintaan. Jokaiselle osaprosessille on annettu erilliset ohjeistukset, kuinka niiden laatua voidaan arvioida. (SFS-EN 17007 2017 s. 5, 8-13.)

### **2.3 Omaisuudenhallinta Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa**

Tutkimusta varten selvitettiin omaisuudenhallintaa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Yhteistä kaikille osapuolille oli useiden eri järjestelmien käyttäminen tiedon hallinnassa sekä näiden järjestelmien iäkkäys. Kaikilla osapuolilla oli kuitenkin samanlaiset tavoitteet uudistaa ja kehittää järjestelmiään kohti tehokkaampaa omaisuudenhallintaa. Selvitystä tehtiin ennen kaikkea taitorakenteiden näkökulmasta.

Helsingin kaupungilla on käytössään useita hallintajärjestelmiä ja tietokantoja omaisuudenhallintaan, vain sillat, tunnelit ja laiturit tallennetaan Liikenneviraston Taitorakennekisteriin. Vanhimmat järjestelmät on otettu käyttöön jo lähes 20 vuotta sitten, osa vasta uusien hankkeiden yhteydessä, kun soveltuvaa järjestelmää ei ole ollut ennestään saatavilla. Järjestelmien ylläpidosta, pois lukien Taitorakennekisteri, vastaa Helsingin kaupunki. Tiedonsiirtoa on kuitenkin ulkoistettu yrityksille. Tietomallinnettuja kohteita suunnitellaan ja rakennetaan, mutta niitä ei ole vielä ylläpidossa käytössä, sillä ne eivät ole yhteensopivia nykyisten järjestelmien kanssa. Taitorakenteiden osalta tietomallien kehitys kulkee Taitorakennekisterin mukana, muuta rakennettua omaisuutta pyritään jatkossa standardisoimaan kansallisilla ja kansainvälisillä standardeilla. Yhteenvetona voidaan sanoa, että tietoa on paljon ja se halutaan jatkossa helpommin saataville. (Helsinki 2018.) Helsingin kaupungin rakennusvirasto on julkaistu taitorakenteiden tietomallintamiseen ohjeen. Ohjetta tulee noudattaa kaikissa Helsingin kaupungin tilaamissa siltojen ja taitorakenteiden uudisrakentamishankkeissa, ellei hankekohtaisesti toisin sovita. Ohjeeseen on lisätty myös viittauksia Liikenneviraston sekä buildingSMARTin julkaisuihin. (Helsingin kaupunki 2014 s. 3, 7, 19.)

Ruotsissa Liikennevirasto (The Swedish Transport Administration/Trafikverket) hallinnoi ja kehittää selainpohjaista siltojen hallintajärjestelmää BaTMania (Bridge and Tunnel Management). Järjestelmä sisältää tietoa kohteiden rakennussuunnittelusta, nykytilasta, tarkastuksista sekä tulevista tarkastuksista. Siihen tallennetaan tietoa lähinnä silloista,

mutta myös muista taitorakenteista, kuten tunneleista ja tukiseinistä. Järjestelmää käyttää Ruotsin Liikennevirasto, Suur-Tukholman paikallisliikenne, Tukholman kaupunki ja Göteborgin satama. Se on otettu alun perin käyttöön vuonna 2004, jolloin se korvasi aikaisemmin järjestelmän SAFE BRO. (BaTMan 2018.) Tietomalleista tai niistä tuotetuista avoimen tiedonsiirron malleista ei toistaiseksi tallenneta tietoa järjestelmään. Tulevaisuudessa järjestelmää on tarkoitus kehittää yhteensopivaksi eri suunnitteluohjelmistoilla tuotettujen tietomallien suhteen ja tiedonsiirtoa pyritään automatisoimaan. Pohdintaa on tehty myös sen suhteen, millaisia etuja droneista kerättävän tiedon hyödyntämisellä järjestelmässä voisi olla. Kehityksen suuntaa hahmotellessa, on mietitty myös järjestelmän integraatiota Maximo -nimisen hallintajärjestelmän kanssa. (Travikverket 2018.) Maximo on IBM:n kehittämä hallintajärjestelmä, joka sisältää muun muassa omaisuudenhallinnan, työnhallinnan, ostojen ja materiaalien hallinnan, sopimushallinnan sekä työnhallinnan (Maximo 2018). Tietomallintamisen kehityksen vaiheistuksen Ruotsin Liikenneviraston on asettanut alun perin vuonna 2014 julkaistusta asiakirjassaan (Trafikverket 2014 s. 1).

Norjan Liikennevirasto (The Norwegian Public Roads Administration/Statens vegvesen) hallinnoi rakennettua omaisuutta usean eri järjestelmän muodostamalla kokonaisuudella. Omaisuudenhallintaa tehdään rakennetun omaisuuden osalta tiestölle, silloille ja tunneille. Järjestelmien ylläpidosta ja kehityksestä vastaan Norjan Liikennevirasto, mutta yhteistyötä tehdään myös useiden eri yritysten kanssa. BRUTUS (Bridge Inspection and Maintenance) on siltojen hallinnassa käytettävä järjestelmä. (Vegvesen 2018.) BRUTUS on otettu käyttöön myös Latviassa ja Tansaniassa (Brutus 2014). PLANIA on tunneleiden ylläpidon järjestelmä, sisältäen tunneleiden sähköistyksen ja digitaalisen laitteiston. EL-RAPP on rakentamisen ja ylläpidon raportoinnissa ja analysoinnissa käytettävä järjestelmä. MOTIV on kustannuslaskennassa käytettävä järjestelmä ja DEKSYS tiestön kunnon seurannassa käytettävä järjestelmä. Yhteistä hallintajärjestelmille on, että ne ovat vanhoja, osa jopa 20 vuotta sitten käyttöön otettuja. Järjestelmiä kehitetään kuitenkin vuosittain. Teiden, siltojen ja tunneleiden tiedon tallennuksessa käytetään kansallista teiden tietokantaa (The National Road Database). Riippuen projektista, tietoa tallennetaan useissa eri muodoissa. Kaikki uudet projektit toteutetaan tietomallintamalla, mutta tietomallien hyödyntäminen kohteiden rakentamisen ja ylläpidon aikana ei ole vielä optimaalista, tätä pyritään parantamaan useissa suurissa projekteissa. (Vegvesen 2018.) Norjan kartoitusviranomaisten (The Norwegian Mapping Authority) toimesta kehitetään avoimessa tiedonsiirrossa käytettävää SOSI-standardia (Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon), josta on saatavilla myös englanninkielinen versio (SOSI 2018). Suomessa käytettävä SOSI-standardin vastine on ainakin osittain GT-formaatti, joka on kuitenkin kehityksessään jäljessä Norjan standardia (Kivimäki 2018). Norjan senaattikiinteistöt on julkaissut ohjeen tietomallintamiseen. Ohje käsittelee IFC-muodossa olevien tietomallien vaatimuksia. (Statsbygg 2013 s. 6.)

## 2.4 Tiedonsiirto ja omaisuudenhallinta

Omaisuudenhallinnassa käytettävien tiedonsiirtoformaattien tulisi olla ensisijaisesti avoimia ja standardisoituja. Tietomallinnetuissa kohteissa ensisijainen tiedonsiirtoformaatti taitorakenteissa on IFC ja muissa infran osissa Inframodel (Liikennevirasto 2017a s. 13.) Inframodel on kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva avoin menetelmä infratiedon siirtoon. Sen tarkoituksena mahdollistaa tiedon siirtyminen koko infra-alalla niin suunnittelussa kuin työmaalla. (buildingSMART Finland 2018.) Inframodel on jo osittain käytössä tietomallinnetussa infrasuunnittelussa. Toistaiseksi ei voida kuitenkaan toteuttaa kaikkea tiedonsiirtoa IFC:llä ja Inframodelilla, joten tarpeen mukaan käytössä on myös muita yksinkertaisempia yleisiä formaatteja, kuten DWG, DGN, DXF ja GT. (Liikennevirasto 2017a s. 13, 36.) Yksinkertaisempien formaattien käytön haittapuolena on natiivimallien suuren tietomäärän häviäminen tulostusvaiheessa. DWG-, DGN- ja DXF-formaatit ovat ennen kaikkea geometriatiedon siirtoon soveltuvia. GT-formaatin (Geonic) vastine Liikenneviraston ohjeistuksissa on Infra maastomalli -formaatti (Liikennevirasto 2017b, Liite 1). GT-formaatilla voidaan siirtää tekstimuodossa tietoja esimerkiksi tien taiteviivojen pisteistä.

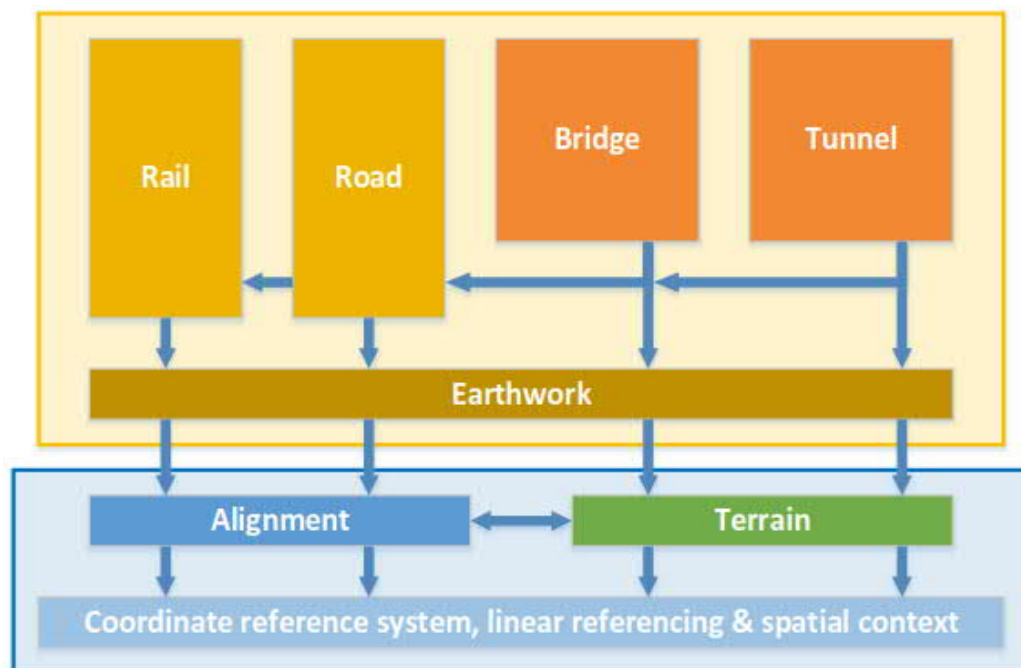
IFC-tiedostoilla (Industry Foundation Classes) viitataan standardisoituihin avoimessa tiedonsiirtomuodossa tallennettuihin malleihin, jotka mahdollistavat tiedonsiirron ohjelmistosta toiseen. IFC-standardia kehittävän buildingSMARTin tavoite on, että standardia voitaisiin hyödyntää yhteistyöalustana rakennusalan eri osapuolten välillä suunnittelussa, rakentamisessa sekä ylläpidossa. (buildingSMART-Tech 2018.) Ensimmäinen versio IFC 1.0 julkaistiin vuonna 1997 (Wang et al. 2015 s. 465). Mallinnusohjelmistot, kuten Tekla Structures, hyödyntävät tällä hetkellä vielä yleisesti IFC 2x3 -standardia. Trimblellä on tehty IFC 4 -standardin mukaista ohjelmistokehitystä jo parin vuoden ajan ja se voidaan ottaa tarvittaessa käyttöön, kun muut hankkeiden osapuolet, kuten teollisuus, ryhtyvät sitä laajemmin hyödyntämään. Osittainen syy IFC 2x3 -standardin käytölle on se toimintavarmuus, IFC 4 -standardin sertifiointi, eli laadun varmistaminen, on toistaiseksi vielä kesken. (Liflander, L. 2018.) Autodeskin Revitissä on mahdollista tehdä IFC 4 tulostuksia jo nyt. Uusin julkaistu standardi on IFC 4.2, josta seuraava versio IFC 5 on kehityksen alla (buildingSMART-Tech 2018). Versiopäivitysten myötä standardin elementtityyppien määrä kasvaa ja standardi kehittyy paremmin hyödynnettäväksi rakennetun kohteen elinkaaren ajalla (Wang et al. 2015 s. 465).

BuildingSMARTin IFC-standardin kehitysprojekteja ovat (RASTI 2018):

- IFC Common Schema
- ifcOWL
- IFC Alignment
- IFC Road
- IFC Bridge
- IFC Port & Harbors

- IFC Tunnel
- IFC Common Schema
- Integrated Built Environment Life Cycle Model
- Infra Asset Management.

Infrasuunnitteluhankkeiden kannalta keskeisiä IFC-standardin laajennuksia ovat muun muassa IFC Bridge, IFC Road ja IFC Alignment. IFC Bridge on seuraavaksi julkaistava laajennus IFC-standardiin. Se tuo muun muassa rakennusten puolelta lohko ja kerros jaottelun siltoihin siten, että jatkossa sillan osat voidaan lokeroida rakenneosaryhmätasolla sekä päärakenneosatasolla, esimerkiksi alusrakenteisiin ja välitukiin. Siltojen rakenneosien geometrioihin ja standardin skeemaan IFC Bridge ei tuo suuria muutoksia. (Hyvärinen J. 2018.) Kehitysprojekti, jonka osa tämä tutkimus on ollut, on osaltaan ohjannut myös IFC Bridge -standardin kehitystä (Myllymäki, H. 2018). IFC Road on tiepuolelle suunnattu lineaaristen tietomallien IFC-standardin laajennus. Sen tarkoituksena on edistää suunnittelun ja urakoinnin välistä tietomallien hyödyntämistä väylien rakentamisessa. IFC Road -standardin kehityksen ensimmäinen vaihe on aloitettu selvitystyöllä, jossa karotetaan tiedonsiirron esimerkkien kautta kehitettävää skeemalle ja elementtityypeille. Toisessa vaiheessa vuoden 2019 alussa on tarkoitus aloittaa skeeman varsinainen laajennustyö. (buildingSMART-Tech 2018.) IFC Alignment oli ensimmäinen infran rakenteille suunnattu IFC-laajennus, joka hyväksyttiin osaksi IFC-standardia vuonna 2015. Se toimii pohjana muun muassa IFC Bridge ja IFC Road -standardeille (kuva 6). Sen avulla tietomalliin saadaan sisällytettyä sekä kolmiulotteinen että kaksiulotteinen suuntaus. Kaksiulotteisella suuntauksella silta voidaan liittää osaksi väylien tasossa tehtyjä suunnitelmia ja väylä osaksi sillan kolmiulotteisia suunnitelmia. (buildingSMART-Tech 2018.)

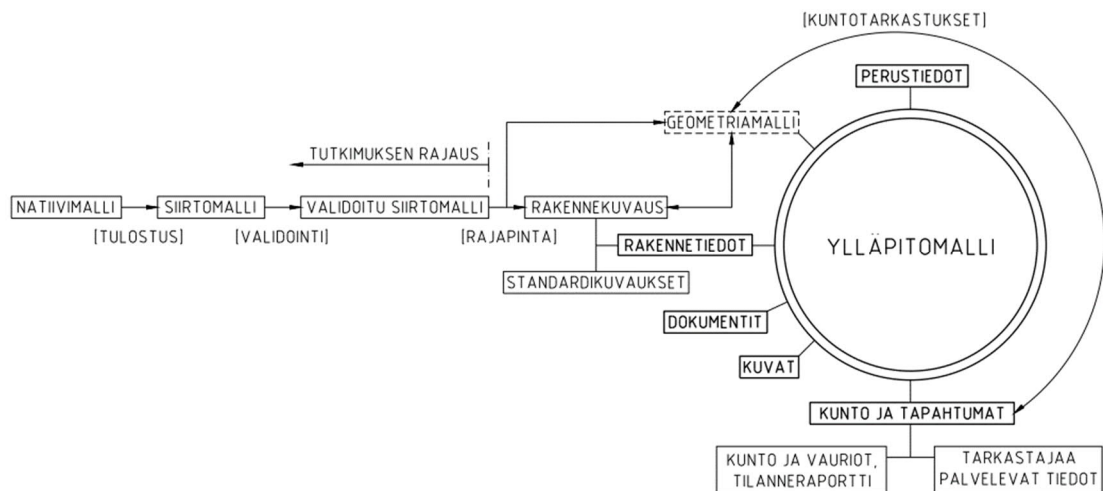


**Kuva 6.** Yleiskuva IFC-standardin eri osista ja niiden riippuvuuksista (buildingSMART-Tech 2018).

### 3. TAITORAKENNEREKISTERIN TIETOSISÄLLÖN LAAJENTAMINEN

#### 3.1 Prosessin kuvaus

Diplomityön rajaus on samalla myös suunnittelijan vastuualue Taitorakennerекisterin sillan ylläpitomallin perustamisesta. Suunnittelijan prosessi alkaa suunniteltavasta kohteesta ja päättyy siitä tuotettuun validoituun siirtomalliin. Kuvassa 7 on esitetty prosessin kuvaus alkaen suunnittelusta ja päättyen Taitorakennerекisterin tietokantaan. Vain rajapintaan tuotavalle siirtomallille on asetettu vaatimuksia Liikenneviraston puolelta. Rajapinnan kautta muodostetaan jatkossa kohteen rakennekuvaus sekä myöhemmässä vaiheessa kohteen geometriamalli. Tämän tutkimuksen aikana rajapinta oli vielä kehitysvaiheessa, joten siirtomallien testausta ei ole päästy tekemään. Rajapinnan kehitystä tehdään osittain tämän tutkimuksen tulosten kautta.

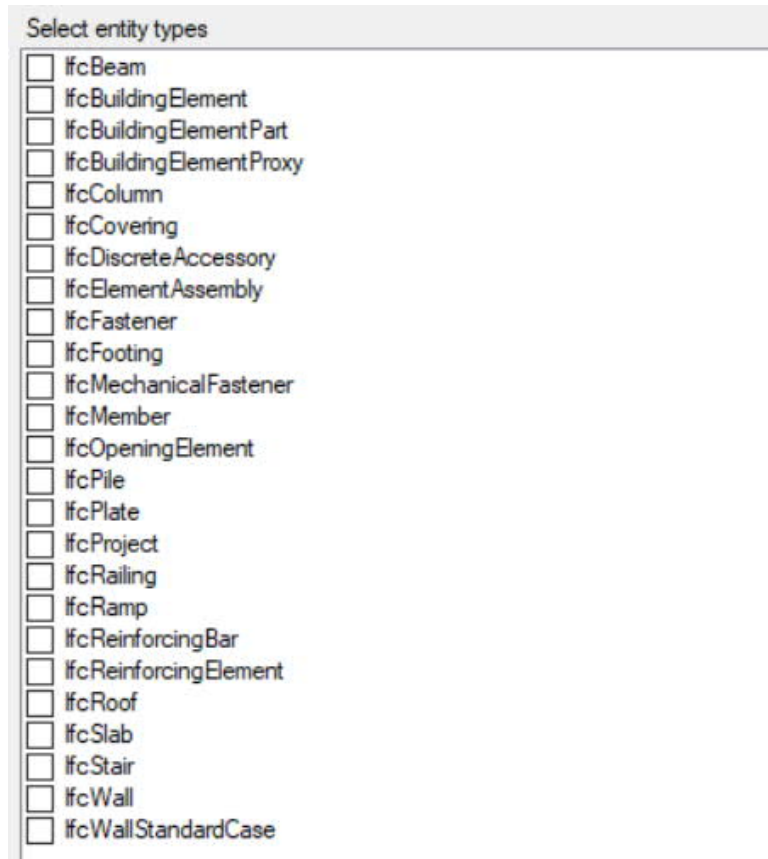


**Kuva 7.** Prosessin kuvaus (muokattu lähteestä Taitorakennerекisteri 2018).

Natiivimalli tehdään silta-suunnitteluun soveltuvalla mallinnusohjelmistolla. Tässä tutkimuksessa käytettiin Trimblen (aik. Tekla) Tekla Structures -ohjelmistoa. Rakennehierarkian testausta ja tietosisällön lisäystä tutkittiin myös Autodeskin Revit -ohjelmistolla. Taitorakennerекisterin asettamat vaatimukset koskevat vain IFC-muotoista siirtomallia, joten teoriassa kaikki IFC-muotoa tulostavat ohjelmistot soveltuvat käytettäväksi suunnittelussa (Liikennevirasto 2014a s. 38).

Siirtomallin tulostus tehdään mallinnusohjelmiston IFC:n tulostustyökalulla. IFC-muodossa olevat tietomallit mahdollistavat tiedon tehokkaamman siirtämisen ja täydentämisen Taitorakennerекisterissä kohteen elinkaaren aikana. Tulostusasetuksista määritetään, miltä elementtityypeiltä ja mitä attribuutteja siirtomalliin sisällytetään. Kuvassa 8 on esi-

tetty, mitä elementtityyppejä Tekla Structuresissa voidaan tulostaa. Asetukset tallennetaan ”ePset\_Liikennevirasto” nimellä, jolloin tiedonsiirron muoto täyttää Siltojen tietomalliohjeen vaatimukset. (Liikennevirasto 2014a s. 36.) Pset-alkuiset skeemat on varattu IFC-standardin omille määrittelyille, joten Liikenneviraston skeemaan on lisätty ylimääräinen e-kirjain selkeyden vuoksi (Lehtinen S. 2018).



**Kuva 8.** Tekla Structures 2017i version elementtityypit Export to IFC -työkalussa.

Siirtomallin validointi eli tietosisällön tarkastus tehdään, jotta voidaan varmistua, että se täyttää Taitorakennekisterin asettamat vaatimukset. Validointi koskee vain mallin sisältämää tietoa ja tietorakennetta. Kohteen suunnitelmille tehdään erillinen tarkastus Liikenneviraston asettamien ohjeiden mukaisesti. (Liikennevirasto 2014a s. 49.) Siirtomallin validointi voidaan tehdä millä vain IFC:n tarkasteluun soveltuvalla ohjelmistolla. On kuitenkin todennäköistä, että mallin tietosisältöä joudutaan editoimaan, jolloin ohjelmistosta tulisi löytyä työkalut myös tämän tekemiseen. Tässä tutkimuksessa siirtomallin validointi ja editointi toteutettiin Datacubist Oy:n kehittämällä Simplebim -ohjelmistolla sekä siihen yhteensopivalla Excel-pohjalla. Simplebimiä ja Excel-pohjaa käytettäessä mallin tarkastus on automatisoitua, jolloin suunnittelijan tehtäväksi jää enää mallista korostettujen virheiden korjaus.

Validoidun siirtomallin tulostus voidaan tehdä, kun mallin tietosisältö ja sen rakenne on tarkastettu. Kuten mallin editointi, myös tarkastus voidaan tehdä osittain Simplebim-ohjelmistoa ja Excel-tiedostoa käyttäen. Excelliin voidaan määritellä ehdot, joiden täyttyessä

tieto on validia. Validi tieto erottuu Simplebimissä vihreällä merkinnällä. Tietosisällön rakenteen tarkastus tehdään käymällä mallin hierarkiatasot läpi ja vertaamalla niitä Taitorakennekisteriin tallennettuihin standardikuvauksiin. Standardikuvaukset ovat Taitorakennekisteristä löytyviä mallisuorituksia kyseisille siltatyypeille. Tätä tutkimusta tehdessä uusien siltojen standardikuvauksia (sil-1000...sil-1004) oli saatavilla neljälle erilaiselle siltatyypille, jatkossa niiden määrää on tarkoitus lisätä, jotta niillä saadaan katettua laajempi otos Suomen siltakannasta (Myllymäki, H. 2018). Taitorakennekisteristä löytyviä vanhempia sil-standardeja (sil-1...sil-22) on käytetty olemassa olevien siltojen tietojen tallennuksessa järjestelmään.

### 3.2 Tietosisällön lisääminen

Nykyiset vaatimukset tietosisällölle tulevat laajentumaan merkittävästi. *Jatkossa siirtomalliin vaaditaan käytännössä kaikki se rakenneosia kuvaava tieto, joka on aikaisemmin ollut kohteen suunnitelmapiirustuksissa.* Siltojen tietomalliohjeessa on määritelty siirtomallin sisällön vaadittu tietorakenne. Tietorakenteen muoto on määritelty siten, että se pystytään mahdollisimman helposti saavuttamaan nykyisillä käytettävillä työkaluilla (Lehtinen S. 2018). Tietorakenteen tulee olla seuraavanlainen, jotta siirto Taitorakennekisterin rajapinnan kautta onnistuu:

Property Set: ePset\_Liikennevirasto

Name: ”Attribuutin nimi”

Type: ”Attribuutin tyyppi”.

Kaikki Liikenneviraston vaatimat IFC-määrittelyt lisätään ePset\_Liikennevirasto -nimisen Property Setin alle. Attribuutin tyyppi -kohtaan määritetään, onko arvo esimerkiksi teksti- vai lukumuodossa. Attribuutin nimi -kohtaan kirjoitetaan Taitorakennekisterin mukainen sallittu arvo. Kuvassa 9 on esitetty, kuinka materiaalitieto saadaan tulostettua. Kuvan ”Attribute”-kohdassa ilmoitetaan, mistä sijainnista attribuuttitieto poimitaan tietomallista.

**Kuva 9.** Attribuuttitiedon poimiminen ja nimeäminen.



IFC-määrittelyt on jaettu osiin siten, että osa niistä koskee kaikkia, osa lähes kaikkia rakenneosia, osa vain tiettyä materiaalia ja osa vain raudoituksia. Lisäksi on määrittelyjä, jotka koskevat vain tietyn tyyppistä rakenneosaa esimerkiksi laakeria tai putkea. Määrittelyt on pyritty tekemään niin, että mahdollisimman pienellä määrittelyjoukolla saadaan katettua mahdollisimman suuri joukko eri tyyppisiä rakenneosia. (Lehtinen S. 2018.)

Tietosisällön lisäyksessä pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon hyödyksi mallinnusohjelmistosta sisäänrakennettuina olevia attribuuttikenttiä. Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen tietosisällön ollessa kuitenkin niin laaja, uusille määrittelyille oli lähes välttämätöntä lisätä välilehtiä ja attribuuttikenttiä mallinnusohjelmistoon. Uusien tietokenttien ja välilehtien lisääminen tapahtui ohjelmiston mallinnusobjektien attribuuttitiedostoa muokkaamalla. Käytettävät ohjelmistot voivat asettaa vaatimuksia muun muassa attribuuttien merkkijonon pituudelle sekä sen sisältämille aakkosille. Yleisesti rakennuskohteissa tarvittavia perustietoja, kuten rakenneosan nimi, materiaali ja profiili, on yleensä sisäänrakennettuina ohjelmistoissa. Osa tiedoista, kuten rakenneosan pituus, leveys ja tilavuus saadaan taas suoraan mallinnetun objektin ominaisuustiedoista eivätkä nekään vaadi lisäyksiä ohjelmistoihin. Suuri osa uuden tietosisällön attribuuteista joudutaan kuitenkin lisäämään itse ja tämä vaatii hieman tuntemusta käytettävästä mallinnusohjelmistosta.

### 3.3 Tietosisältö eri suunnitteluvaiheissa

Suunniteltavan kohteen tietosisällön laajuus ja tarkkuus ovat sidoksissa meneillään olevaan suunnitteluvaiheeseen. Myös siltapaikan merkittävyydellä on vaikutusta siihen, vaaditaanko sillasta ylipäättään mallinnettua rakennetta kyseessä olevassa suunnitteluvaiheessa. *Rakennussuunnitteluvaihe on ensimmäinen vaihe, jossa sillasta vaaditaan Taitorakennerekisterin rajapintaan vietävä siirtomalli (Liikennevirasto 2018 s. 11).* Rakennussuunnitelmavaiheessa on todennäköistä, että kohde toteutetaan ennen pitkää, joten sen tietosisältö tulee saada kokonaisuudessaan tallennettua. Mikäli esi-, yleis- tai siltasuunnittelussa tehtyjä malleja on tarkoitus hyödyntää rakennussuunnittelussa sellaisenaan, on eduksi, että suunnittelija on tehnyt mallinnuksen, hierarkiat ja tietosisällön lisäykset jo aikaisemmassa suunnitteluvaiheessa lopullista siirtomallia taustalla ajatellen. Tällainen tilanne voi tulla vastaan kokonaisvastuu-urakassa, jossa siltasuunnitelmataason malli päivitetään myöhemmässä vaiheessa rakennussuunnitelmatasoiseksi saman konsulttitoimiston toimesta (Liikennevirasto 2014a s. 22). Tietosisältövaatimukset eivät ole varhaisemmissa suunnitteluvaiheissa juurikaan kasvaneet, suurin muutos on tullut rakennussuunnitteluvaiheen IFC-malleihin. Tiedon rakenteeseen ja rakenneosien nimeämisiin tulee kuitenkin muutoksia jokaiseen suunnitteluvaiheeseen. Tällä mahdollistetaan eri lähteistä tulevan tiedon linkittäminen yhteen.

Siltakohteet luokitellaan eri vaatimustasoihin Liikenneviraston Siltapaikkojen luokitusohjeen 9/2013 mukaisesti. Vaatimustason määrittää ympäristöasiantuntija yhdessä väylä- ja siltasuunnittelijan kanssa. Siltapaikan luokitus asettaa vaatimuksia sille, kuinka laajasti

siltapaikka (väylät, luiskat ja muu ympäristö) tulee esittää mallissa (Liikennevirasto 2014b s. 19). Ääripäinä voisivat olla esimerkiksi syrjätielle rakennettava tyypillinen putkisilta sekä kaupunkiin keskeiselle sijainnille rakennettava arkkitehtonisesti näyttävä vinoköysisilta. Siltapaikkojen luokitus tehdään neljälle tasolle sijainnin, maisema-arvon, kulttuuriarvon sekä erityisten esteettisten tavoitteiden ja symboliarvon mukaan. Luokka I on merkittävyydeltään vaativin ja luokka IV vaatimattomin. Luokkaan I kuuluvat kulttuuriympäristöltään, maisemaltaan tai taajamakuvaltaan arvokkaat näkymät sekä luonnonsuojelualueet. Luokkaan II kuuluvilla siltapaikoilla on samat ominaisuudet kuin luokassa I, mutta ne ovat merkittävyydeltään seudullisia tai paikallisia ja näkymältään hieinan vaatimattomampia. Luokkaan III jaotellut siltapaikat ovat tavallisesti vesistön ylityksiä tai taajamarakenteen ulkopuolelle sijoituvia liikennemäärältään suuria siltapaikkoja. Vaatimattomimpaan luokkaan IV kuuluvat siltapaikat, jotka eivät täytä edellä asetettuja vaatimuksia. Ne ovat yleensä vähän liikennöityjen väylien siltapaikkoja taajamien ulkopuolella tai vähäisiä vesistöjen ylityksiä. Luokkaan I kuuluvien siltojen prosenttiosuus kaikista Suomen silloista on noin 1-2 %, luokkaan II kuuluvien osuus noin 10 %, luokkaan III kuuluvien osuus 66 % ja luokkaan IV kuuluvien osuus noin 20 %. (Liikennevirasto 2013 s. 7.)

### 3.3.1 Esisuunnittelu

Esisuunnitteluvaiheen mallinnusvaatimukset eivät koske siltapaikkaluokaltaan vaatimattomimpia luokkien III ja IV kohteita. Näissä tapauksissa esisuunnitteluvaiheen mallinnus voidaan tehdä yleis- tai siltasuunnitteluvaiheen yhteydessä. (Liikennevirasto 2014a s. 19.)

Esisuunnitteluvaiheessa sillasta vaaditaan mallinnettavaksi näkyvät pinnat. Immateriaalitiedoista tulee mallintaa tukilinjat, hyödyllinen leveys sekä aukkovaatimukset. Siltojen mallinnetuilla rakenneosilla ei tarvitse tässä vaiheessa olla tarkempia määrä- ja kustannuslaskennassa tarvittavia tietoja, kuten tilavuutta ja materiaalien lujuustietoa. Esisuunnittelussa sillasta laaditaan havainnollinen pintamalli hankkeen varhaisia suunnittelu- ja selvitysvaiheita varten (Liikennevirasto 2014b s. 19.) Vaadittavat immateriaalitiedot voivat vaikuttaa merkittävästi valittavaan siltatyyppiin ja sitä kautta sillan kokonaiskustannukseen, joten ne ovat oleellisia tietoja jo tässä vaiheessa, kun arvioidaan alustavaa kustannusta kohteelle.

Taitorakennerekisteriin vietävän siirtomallin rakenneosissa tulisi esisuunnitteluvaiheessa olla seuraavat tiedot (suluissa havainnollistavaa tietoa):

- Rakenneosan sijaintitieto (x-, y- ja z-koordinaatti)
- Rakenneosan nimi (Siipimuuri 1 V, hyödyllinen leveys)
- Materiaali (betoni)
- Materiaalitarkenne (luokittelematon betoni)
- Mallinnusobjektin tyyppi (palkki, pilari)
- Betoniteräsmäärä ( $\text{kg/m}^3$ )

- Lukumäärä
- Hierarkiataso.

### 3.3.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa hyödynnetään siltapaikkaluokissa I ja II tuotettuja pintamalleja. Siltapaikkaluokissa III ja IV pintamalli voidaan tuottaa tässä vaiheessa. (Liikennevirasto 2014a s. 19.)

Kuten esisuunnitteluvaiheessa, tässäkin vaiheessa mallinnetaan vain näkyvät pinnat. Muun muassa kustannusten arvioinnilla on suurempi merkitys, joten sillasta mallinnetaan myös varusteet ja laitteet, etuluiskat sekä keilat. Immateriaaliobjekteista mallinnetaan lisäksi ajoratojen leveydet ja väylien mittalinjat sekä sillan pääpisteet. Tässä vaiheessa tehdään myös sillan sovitus olemassa olevaan rakennettuun ympäristöön, jotta havaitaan mahdolliset ongelmakohdat. (Liikennevirasto 2014a s. 20.)

Taitorakennerekisteriin vietävän siirtomallin rakenneosissa tulisi yleissuunnitteluvaiheessa olla vastaavat tiedot kuin esisuunnitteluvaiheessa. Vain mallinnettavien osien määrä kasvaa yleissuunnittelussa.

### 3.3.3 Siltasuunnittelu

Siltasuunnitteluvaiheessa mallista tulee pystyä laskemaan tarkkoja määrätietoja suoraan rakenneosista, joten niillä tulee olla tilavuustieto. Osittain samasta syystä tässä vaiheessa sillasta mallinnetaan myös näkyvän pinnan alapuoliset rakenteet. Pienet rakenneosien yksityiskohdat voidaan jättää mallintamatta. Joissain tapauksissa siltapaikkaluokissa III ja IV pintamalli voidaan tuottaa vasta tämän vaiheen alkupuolella. Siltasuunnittelutasoa vaaditaan, kun sillan tietomalli liitetään osaksi väylähankkeen tie-, rata- tai katusuunnitelmaa. (Liikennevirasto 2014a s. 21-22.)

Taitorakennerekisteriin vietävän siirtomallin rakenneosissa tulisi siltasuunnitteluvaiheessa olla seuraavat tiedot:

- Rakenneosan sijaintitieto (x-, y- ja z-koordinaatti)
- Rakenneosan nimi (Siipimuuri 1 V, hyödyllinen leveys)
- Materiaali (betoni)
- Materiaalitarkenne (luokittelematon betoni)
- Mallinnusobjektin tyyppi (palkki, pilari)
- Betoniteräsmäärä ( $\text{kg/m}^3$ )
- Lukumäärä
- Hierarkiataso
- Jänneteräsmäärä ( $\text{kg/m}^3$ ).

### 3.3.4 Rakennussuunnittelu

Rakennussuunnitelmassa sillan siirtomallilta vaaditaan kaikki se tietosisältö, joka sen toteuttamiseen laatuvaatimukset täyttäen tarvitaan. Sillasta mallinnetaan pinnat, raudoitukset, varusteet ja laitteet, immateriaalitiedot sekä maaperätiedot. Rakennussuunnittelutason siirtomallista käytetään yleisesti nimitystä tuotemalli. (Liikennevirasto 2014a s. 25.)

Tämän tutkimuksen yhteydessä pilotoidut case-kohteet ovat siltojen rakennussuunnitelmavaiheen malleja. Tutkimuksessa esitetyt kohteet eivät kuitenkaan täytä kaikilta osiltaan Siltojen tietomalliohjeessa esitettyjä vaatimuksia, joten ne toimivat lähinnä ohjeellisina malleina ja auttavat suunnittelijaa hahmottamaan, millaisia vaatimuksia siirtomalleilta odotetaan Taitorakennerekisterin rajapinnassa. Case-kohteita käsitteleviin kappaleisiin, on merkitty Siltojen tietomalliohjetta soveltaen kohdat, joiden osalta ne eivät täytä vaatimuksia.

Ohessa on lueteltu kaikki uudet sallitut Taitorakennerekisterin rajapinnan rakenneosien IFC-määrittelyt sekä vertailuna aikaisemmat Siltojen tietomalliohjeen 6/2014 mukaiset määrittelyt. Uusista määrittelyistä kaikki eivät tule lisättäväksi samaan sillan siirtomalliin, sillä osa määrittelyistä koskee vain tietyn tyyppisiä kohteita, kuten putkisiltoja. Luettelossa on merkitty paksummalla fontilla kohdat, jotka tulee todennäköisesti lisätä tekstikenttänä mallinnusohjelmistoon. Tekstikenttä vaaditaan osien ominaisuustiedoille sekä yleisesti myös silloin, kun osaa ei ole mallinnettu, eikä se tietoja voida täten johtaa mallinnusobjektin kautta, kuten maalauspinna-alaa. Osassa kohdista on ilmoitettu suluissa, että arvo voidaan tarvittaessa johtaa ja näin ollen jättää pois rakennussuunnitteluvaiheen mallista. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseinen kohta on ollut tarpeellinen vain aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa, kun kaikkia mallin objekteja ei ole vaadittu mallinnettavaksi, kuten rakennussuunnitteluvaiheessa.

Nykyiset määrittelyt rakennussuunnitteluvaiheen siirtomallin rakenneosien tietosisällölle (Liikennevirasto 2014a s. 25, 40-43):

- Määrälaskentaohjeen mukainen sijainti (100, 400, 600)
- Rakenneosan sijaintitieto (x-, y- ja z-koordinaatti)
- Rakenneosan nimi (Siipimuuri, hyödyllinen leveys)
- Materiaali (C30/37, S235JR, A500HW, GL30c)
- Mallinnusobjektin tyyppi (palkki, pilari)
- Pintakäsittely (LIVI A.1, impregnointi)
- Sillan osan tunnus (Ro10)
- Pakkasenkestävyys (P30)
- Rasitusluokkaryhmä (R1)
- Raudoitteiden paksuus (mm).

Taitorakennerekisteriin vietävän siirtomallin rakenneosissa tulisi rakennussuunnitteluvaiheessa olla jatkossa seuraavat tiedot (osa tiedoista lisätään vasta toteutusmalliin):

- Rakenneosan sijaintitieto (x-, y- ja z-koordinaatti)
- **Rakenneosan nimi** (Siipimuuri 1 V, hyödyllinen leveys)
- **Materiaali** (Betoni)
- **Materiaalitarkenne** (C30/37, S235JR, A500HW, GL30c, #0/32)
- Mallinnusobjektin tyyppi (Palkki, pilari, laatta)
- ~~Betoniteräsmäärä~~ (Johdetaan)
- ~~Lukumäärä~~ (Johdetaan)
- Hierarkiataso (0, 1, 2, ...x)
- ~~Jänneteräsmäärä~~ (Johdetaan)
- **Pintakäsittely** (LIVI A.1)
- **Suojausmenetelmät** (Impregnointi)
- **Valmistusmenetelmä** (Paikallavalu)
- **Sillan osan tunnus** (Ro10)
- **Pakkasenkestävyys** (P30)
- **Rasitusluokkaryhmä** (R1)
- Massa (kg)
- Paksuus (mm, m)
- Pinta-Ala ( $m^2$ )
- Tilavuus ( $m^3$ )
- **Maalauspinta-Ala** ( $m^2$ )
- **Sekundäärinenkannatin** (Kyllä, 1)
- **Pääkannattaja** (Kyllä, 1)
- **Vahventamismenetelmä** (Teräslevyt liimaamalla)
- **Tyyppi** (Betonikaide)
- Poikkileikkauksen pinta-ala ( $m^2$ )
- Halkaisija (mm)
- **Näkyvän pinnan tyyppi** (Muottia vasten valettu)
- **Perustamistapa** (Maanvarainen laatta)
- **Valmistaja** (Mageba, Dywidag)
- Levypaksuus (mm)
- Raudoitemäärä (kg)
- Betoniteräksen taivutustyyppi (A)
- Raudoitejako (mm)
- Profiili (HEA)
- Leveys (mm, m)
- Pituus (mm, m)
- Korkeus (mm, m)
- **KRT-1b** (MPa)
- **MRT-max** (MPa)

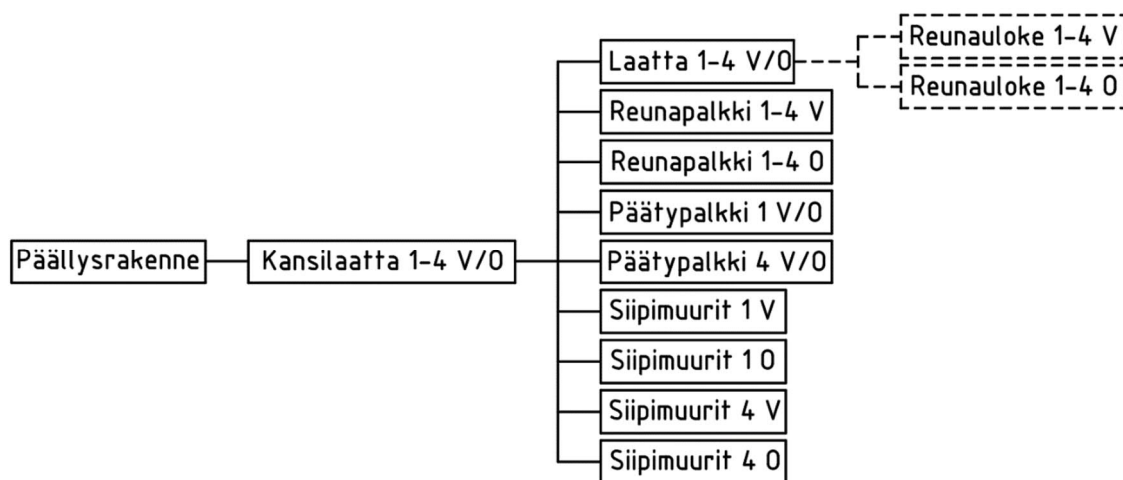
- **KRT-pys** (MPa)
- **MRT-min** (MPa)
- **Liikevara ux** (mm)
- **Paalun vinous** (8:1)
- **Muoto** (Suorakaide)
- **Maalikalvon nimellispaksuus** (um)
- **Pinnoitepaksuuden maksimiarvo** (um)
- **Pinnoitepaksuuden minimiarvo** (um)
- **Pintakäsittelyn värisävy** (RAL 4003)
- **Vinous** (gon)
- **Törmäyskestävyysluokka** (H2)
- **Ympäristörasitusluokka** (C3 - Kohtalainen)
- **Kaapelihyllyn kantavuus** (kg/m)
- **Näkymä** (mm)
- **Huoneiden määrä yhtä koteloa kohti** (kpl)
- **Koteloiden lukumäärä** (kpl)
- **Kotelon matalin sisäkorkeus** (mm)
- **Uppokiinnitys** (Kyllä, 1)
- **Joustomassarakenne** (Asennettava joustolevy)
- **Kiinnitys** (Pulttikiinnitys)
- **Putken korjauksen tyyppi** (Rakenteellinen korjaus)
- **Rakenne** (Monilevyrakenne)
- **Uusintaväli** (Vuotta)
- **Tukityyppi** (Tb-paalut ja/tai pilarit)
- **Yksittäisen reunakiven pituus** (mm)
- **Yksittäisen reunakiven massa** (kg)
- **Nimi** (Pyhäjärvi)
- **Virtausnopeus** (m/s)
- **Virtausnopeus päivämäärä** (1.1.2018)
- **Veden pH** (pH)
- **pH päivämäärä** (1.1.2018)
- **Liikevara uy** (mm)
- **Vaakavoima Hxd** (MN)
- **Vaakavoima Hyd** (MN)
- **Tukireaktio MIN** (MN)
- **Tukireaktio MAX** (MN)
- **Kiertymä pituusakselin ympäri** (rad)
- **Kiertymä poikkisuunnan akselin ympäri** (rad)
- **Alapituus** (mm, m)
- **Olosuhdeluokka** (Tiet suolataan)
- **Putken pään suuntakulma** (gon)
- **Putken rakennustapa** (Märkätyö)

- **Putken pään muoto** (Viistetty)
- **Putken rakenne** (Monilevyrakenne)
- **Lakipituus** (mm, m)
- **Viisteen aloituskorkeus** (mm)
- **Suuntakulma** (gon)
- **Tarkenne** (Murske)
- **Kuvaus** (Pohjalle suodatinkangas)
- **Lasin tyyppi** (Hammerglass lasilevy)
- **Liikemäärä** (mm)
- **Käytetty massa** (Valmisbetoni)
- **Menetelmä** (Kuivaseosmenetelmä)
- **Kaiteen siirtymärakenteen matkalla liittyminen** (Kyllä, 1)
- **Siirtymärakenteen tyyppi** (H2-putkikaide ja N2-teräspalkkikaide)
- **Suunniteltu tiiviysaste** (94 %-Proct,)
- **Kiinnitystapa** (Hitsattu)
- **Sisältää haitallisia aineita** (Kyllä, 1)
- **Kiinnitysmenetelmä** (Porapaaluperustus, uppokiinnitys)
- **Salaojan materiaali** (Epoksoitu kiviaines)
- **Salaojan tyypisuunnitelma** (Livi, R15/DS4).

Lisäksi siirtomalleissa voidaan tarvita sillan toteuttamiseen tarvittavaa tietoa, kuten raudoitusten positiot, jos samaa mallia käytetään myös kohteen rakentamisessa. Nämä tiedot tulee lisätä siirtomalleihin. Myös siltojen määrälaskentaa tukevaa tietoa voidaan tulla lisäämään. Tiedonsiirron määrittelyt päivittyvät aktiivisesti, edellä mainitut määrittelyt ovat diplomityön kirjoittamishetken versioita.

### 3.4 Rakennehierarkia

Rakennehierarkialla pyritään selkeyttämään Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen ulkoasua ja tätä kautta parantamaan sen käytettävyyttä. Osien välinen hierarkia pohjautuu pitkälti käytännön kautta toimiviksi todettuihin ratkaisuihin, jotka on määritelty useiden eri konsulttitoimistoiden asiantuntijoiden yhteistyönä (Myllymäki, H. 2018). Tässä tutkimuksessa on ollut oleellisena osana toteuttaa selkeä ja hierarkkinen esitystapa jo IFC-siirtomalleissa. Tästä syystä yksistään hierarkiatieto attribuuttina ei ole riittävä. Esitystavalla pyritään helpottamaan muun muassa mallien tarkastusta. Hierarkialla ja osiin yhdistetyllä sijaintitiedolla saadaan lisättyä osien välille sidosteisuutta ja selkeyttämään rakenneosakokonaisuuksia, joista silta koostuu. Sijaintitieto säilyy ylemmiltä tasoilta alemmille siirryttäessä, mikä helpottaa tiedon jäljittämistä. Kuvassa 10 esitetty hierarkia ulokelaat-tasillan päällysrakenteen osalta. Reunaulokkeet on esitetty kuvassa katkoviivalla, sillä tietyissä tapauksissa ne luokitellaan osaksi laattaa.



**Kuva 10.** Ulokelaattasillan päällysrakenteen rakennehierarkia (muokattu lähteestä Taitorakennerekisteri 2018).

Tietosisällön jakamista tutkittiin kahdella eri tapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa hyödynnettiin Tekla Structuresin osa- ja kokoonpanotasoja. Toisessa vaihtoehdossa tietosisältö jaettiin ainoastaan osatasolle. Jälkimmäisellä tavalla mahdollistetaan ohjelmistosta riippumaton suunnittelu. Kokoonpanotasojen hyödyntämisen etuna on pienempi mallinnusobjektien määrä. Osatason etuna on tiedon säilyvyys mallinnusobjekteissa. Tutkimuksessa tehtiin myös pohdintaa sen suhteen, kuinka hierarkiat voitaisiin toteuttaa niin, että nykyisiin mallinnuskäytäntöihin tarvitsisi tehdä mahdollisimman vähän muutoksia.

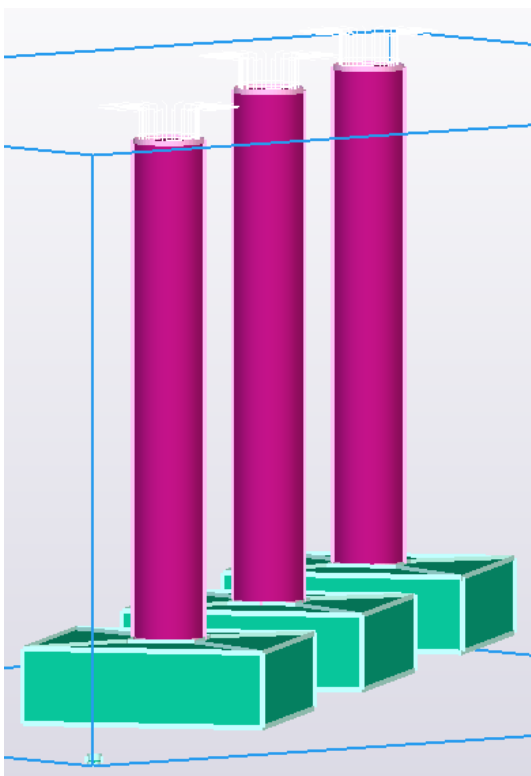
*Osatasolla* tehdyssä hierarkiassa kokoonpanotasot korvataan erillisellä immateriaaliobjektilla, joten hierarkiataason tietokin kirjoitettava erilliseen attribuuttikenttään, josta se saadaan tulostettua siirtomalliin. Immateriaaliobjekti merkitsee tässä tapauksessa vain mallinnusobjektia, jonka ominaisuuksilla tai muodolla ei ole kohteen toteutuksen kannalta merkitystä. Immateriaaliobjekti mallinnetaan vain sen tietosisällön vuoksi. Esimerkkinä laatan ja reunapalkin muodostama kokonaisuus, jonka ylemmällä hierarkiataasolla on kansilaatta. Koska kansilaatalle tulee saada omaa tietosisältöään ja se tulee saada näkyviin siirtomallissa erillisenä tasona, tulee sille mallintaa oma immateriaaliobjekti. Tässä tutkimuksessa immateriaaliobjektina käytettiin lieriöitä. Mitä suurempi oli lieriön halkaisija, sitä korkeampi oli sen hierarkiataso. Tällä tavoin hierarkiataasot olivat selkeämmin näkyvissä jo natiivimallissa. Jokaisen ylemmän hierarkiataason tekemiseen tarvitaan malliin suuri määrä immateriaaliobjekteja, joten pitkällä tähtäimellä voi olla järkevää tehdä komponentti, joka sisältää kaikki mallin tarvitsemat tasot sekä niiden objektit. Komponentti voidaan tuoda aina uudestaan uuteen mallinnettavaan kohteeseen. Kun natiivimalliin on lisätty kaikki tarvittavat immateriaaliobjektit ja niiden tiedot, tehdään IFC-tulostus ja muodostetaan siirtomalliin hierarkinen rakenne IFC-tiedostojen muokkaamiseen soveltuvassa ohjelmistossa. Hierarkia muodostetaan ohjelmiston kokoonpanotasolla. Toistaiseksi tälle hierarkian tekotavalle ei ole tukea, ainakaan tutkimuksessa käytettävässä ohjelmistossa.



Tämän tutkimuksen pääpainona oli hierarkian tekeminen *kokoonpanotasoja* hyödyntämällä. Tällä tavoin tehtynä immateriaaliobjektien määrä saada pidettyä minimissään ja siirtomallin on tietosisällöltään hierarkinen heti IFC-tulostuksen jälkeen. Kokoonpanotasolla tehtynä, osat yhdistetään toisiinsa alikokoonpanoilla (sub assembly). Kokoonpanojen tekemisestä huolimatta, osatason tieto säilyy. Kokoonpanotasojen tietoa voidaan muokata ilman, että se vaikuttaa osatason tietoihin. Yksinkertainen kokoonpanotaso on esimerkiksi kansilaatta, joka muodostetaan reunapalkeista ja laatasta. Reunapalkit ja laatta sisältävät geometria- ja materiaalityiedot, kokoonpanotasolle voidaan lisätä tieto, että se on kantava rakenne. Kantavan rakenteen tiedon voisi lisätä myös laatalle, josta se johdettaisiin kansilaatalle. Tällä tavoin menetellään jo kansilaatan geometriatietojen kanssa. Kansilaatan geometria johdetaan reunapalkkien ja laatan yhteenlasketuista tiedoista Taitorakennerekisterissä. Tutkimuksen yhteydessä kuitenkin päätettiin, että jokaisella osa- ja kokoonpanotasolla tulee olla vain sitä tasoa kuvaavaa tietoa. Tämän vuoksi kokoonpanotasolle tulee lisätä omat attribuuttikentät.

Mikäli tiedon laittamista kokoonpanotasolle halutaan vältellä, voisi tiedon lisätä myös niin, että IFC:n tulostusvaiheessa kaikkien kokoonpanotasojen tiedot haetaan kokoonpanon pääosalta (mainpart.”attribuutti”). Tällä tavoin meneteltynä, siirtomallista tulee validoinnin yhteydessä poistaa yksitellen ne ylimääräiset tiedot niiltä kokoonpanosilta, joille ne eivät kuulu. Pääosan tieto siis kopioituu jokaiselle ylemmälle kokoonpanotasolle, eikä pääosaa voi määrittellä erikseen jokaiselle eri tasolle. Esimerkkinä välituki, jonka pääosalle, pilarille, on annettu tieto välituen vinoudesta. Vinoustieto tulee poistaa tässä tapauksessa sekä pilarilta että pilaristolta. Mikäli kokoonpanotasoja ja tietoa näillä tasoilla on paljon, voi tästä tulla melko työlästä. Jokaiselle kokoonpanolle voidaan tehdä myös oma immateriaaliobjekti, kuten osatasolla tehtäessä on menetelty. Tällöin kaikki tieto on osatasolla ja kokoonpanojen hyödyntämisen tarkoitus on vain saada mallista hierarkinen ja selkeästi luettava. Tässä tavassa hyvää on tiedon säilyminen mallinnusobjekteissa, mutta huonoa suuri määrä immateriaaliobjekteja. Esimerkkinä kansilaatta, jolle tulee lisätä oma immateriaaliobjekti, mikäli sen tieto halutaan pitää osatasolla, kokoonpanotason sijaan.

Kuten osatasolla tehtäessä, myös kokoonpanoille joudutaan joissain tapauksissa tekemään niin sanottuja immateriaaliobjekteja, jotka toimivat osien kokoavina tasoina. Kokoavia tasoja voivat olla esimerkiksi välituet, joilla on alikokoonpanona pilaristo. Pilarit muodostavat yhdessä jo pilaristo kokoonpanon, jotta voidaan muodostaa välituki, tarvitaan yksi objekti lisää (immateriaaliobjekti). Kokoonpano voidaan muodostaa vain kahden tai useamman objektin tai kokoonpanon kesken. Välituki ja pilaristo toimivat vain kokoavina osina, joten niillä ei tarvitse olla geometriaa. Välitukitasolle lisätään sitä koskevaa tietoa, kuten tukityyppi ja vinous. Pilaristotason merkityksellisyys on vähäinen ja sen voisi mahdollisesti jättää jatkossa kokonaan pois. Tällöin sen johtaminen tehtäisiin suoraan Taitorakennerekisterissä tilanteissa, joissa pilareita on samalla väli- tai päätytuella kaksi tai useampi. Samaa toimintatapaa voisi soveltaa myös paalujen kanssa.



**Kuva 11.** Välituen kokoonpano.

Kuvassa 11 on esitetty välituen kokoonpano. Välituen hierarkia on seuraava alimmalta tasolta alkaen: peruslaatta, pilari, pilaristo ja välituki. Peruslaatta ja pilari sisältävät geometriatiedon, pilaristo on pilarin kokoonpanoista muodostettu kokoonpano ja välituki on oman immateriaaliobjektinsa sisältävä kokoonpano.

Kun natiivimalliin on muodostettu kaikki tarvittavat kokoonpanotasot, tulostetaan siitä siirtomalli, jonka muokkausta jatketaan IFC-tiedostojen muokkaamiseen soveltuvassa ohjelmistossa. Mikäli IFC-mallin tulostusasetukset ovat olleet oikein, tulisi hierarkisten kokoonpanotasojen olla valmiina muokkausohjelmistossa tarkastellessa. Kuvassa 12 on esitetty välituen rakennehierarkian näkyminen Simplebimissä ja kuvassa 13 sen tietosisältö.

▲ [Icon] Element Assembly	Alusrakenne
▲ [Icon] Element Assembly	Välituki 2 V/O
□ Column	Välituki 2 V/O
▲ [Icon] Element Assembly	Pilaristo 2 V/O
▷ [Icon] Element Assembly	Pilari 2 3
▷ [Icon] Element Assembly	Pilari 2 2
▷ [Icon] Element Assembly	Pilari 2 1
▷ [Icon] Element Assembly	Välituki 3 V/O
▷ [Icon] Element Assembly	Välituki 4 V/O

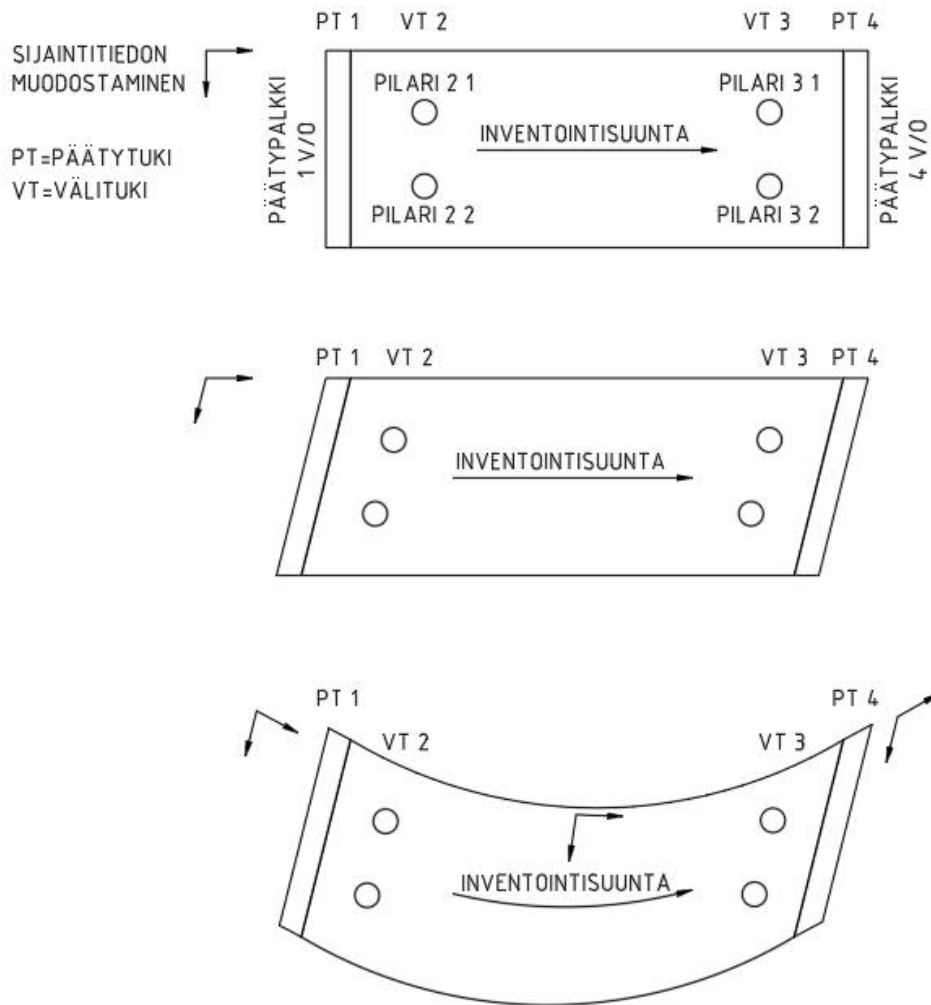
**Kuva 12.** Välituen rakennehierarkia.

Property	Value = Objects	
HIERARKIATASO		1
PERUSTAMISTAPA	Maanvarainen perustus	✓
RAKENNEOSAN NIMI	Välituki 2 V/O	✓
TUKITYYPPI	Tb-paalut ja/tai pilarit	✓
VINOUS	10 gon	✓

**Kuva 13.** Välituen tietosisältö.

Taitorakennerekisterin mukainen hierarkinen esitystapa vaatii osan nimen ja hierarkiatiedon lisäksi myös kolmannen attribuutin, joka on sijaintitieto. Sijaintitieto kertoo osan suhteellisen sijoittumisen mallissa kohteen inventointisuuntaan nähden. Sijainti ilmoitetaan kahdella eri arvolla: pituussuunnan ja poikkisuunnan sijainti. Esimerkiksi tieto ”1-4 V” ilmoittaa, että osa ulottuu ensimmäiseltä tuelta neljännelle tuelle asti ja on kohteen inventointisuuntaan nähden vasemmassa reunassa. Tietyissä tapauksissa vaaditaan tarkempaa sijainnin ilmoittamista, tällöin V- tai O-kirjain voidaan korvata lukujen 0 ja 1 välissä olevilla arvoilla. Yleensä riittävä tarkkuus on sadasosa. Esimerkiksi ”tippuputki 1.5 0.25” kertoo, että sillan kuivatuksessa käytettävä varuste sijaitsee sillan pituussuunnassa ensimmäisen ja toisen tuen puolella välissä, kun taas poikittaissuunnassa se sijaitsee sillan neljännespisteessä sillan vasemmalla puolella.

Sillan rakenneosan sijaintitieto pyritään tulevaisuudessa johtamaan inventointisuunnan kautta suoraan siirtomallista ilman, että sitä tarvitsee antaa erillisenä attribuuttina. Tällöin mallissa tarvitsee olla vain rakenneosaa kuvaava nimi. Jotta inventointisuunnan mukainen sijaintitieto toimii oikein, olisi väylähankkeet mahdollisuuksien rajoissa järkevää toteuttaa niin, että väylän paalutussuunta on yhtenevä tien inventointisuunnan kanssa. Kuvassa 14 on pyritty havainnollistamaan, kuinka osien sijainti voitaisiin johtaa inventointisuunnan kautta. Haasteita voivat aiheuttaa kaarevat tai viistot kohteet. Näissä tilanteissa tarvitaan tieto välituen vinoudesta, jotta vierekkäiset pilarit eivät sekoitu keskenään oikeanpuoleisen pilarin ollessa inventointisuunnassa ensimmäinen.



**Kuva 14.** Inventointisuunnan kautta muodostettava sijainti.

Pohditaan tilannetta, jossa hierarkia johdettaisiin suoraan osien nimien ja sijaintitiedon kautta, ilman erillistä hierarkiatason ilmoittavaa attribuuttia. Haasteena tässä on, kuinka saada mallinnusobjektit ymmärtämään, että ne ovat toistensa osia ja että toinen osa on rakennehierarkiassa korkeammalla kuin toinen. Monissa tilanteissa tämä onnistuu suoraan rakenneosan nimen kautta. Tämä vaatii tosin sen, että osien välisten hierarkioiden tulee olla ennalta määrättyinä rajapinnassa tai Taitorakennerekisterissä.

Esimerkiksi teräsbetonisessa ulokelaattasillassa, jossa alusrakenteen muodostaa aina vain pilarit ja/tai paalut, reunapalkki on aina osa päällysrakennetta, joten sen voidaan aina olettaa olevan hierarkiassa kansilaatan alla, oli sen sijaintitieto mikä vain. Ainoastaan nimen kautta tehtävä reunapalkin hierarkia vaatii kuitenkin lisämäärittelyjä tilanteessa, joissa suunniteltava kohde sisältää päätytuen, joka luokitellaan alusrakenteisiin, kuten laattasilloissa. Edellä mainitussa kohteessa reunapalkit kuuluvat sillan päädyissä alusrakenteeseen ja muualla päällysrakenteeseen. Tässäkin tapauksessa ongelma on kuitenkin yksinkertaisesti ratkaistavissa. Käytännössä hierarkia toimisi reunapalkkien osalta seuraavasti päätytuellisessa kaksi välitukea sisältävässä sillassa:

- Reunapalkki 1 V → Alusrakenne
- Reunapalkki 1 O → Alusrakenne
- Reunapalkki 1-4 V → Päällysrakenne
- Reunapalkki 1-4 V → Päällysrakenne
- Reunapalkki 4 V → Alusrakenne
- Reunapalkki 4 O → Alusrakenne.

Vastaavanlaisia kahdella eri sijainnilla olevia rakenneosia on myös muita, niille voitaisiin tehdä samanlaisia määrittelyehtoja. Sen lisäksi, että rakenneosa voi sijaita eri rakenneosaryhmässä, voi se sijaita myös näiden tasojen alla eri rakenneosien alahierarkioina. Tästä esimerkkinä mantteli, joka voi rakenneosaryhmässään (alusrakenne) sijaita sekä lyönti- että porapaalun alla. Tässä tilanteessa mantteli saadaan kuitenkin nimen loppuosan kautta tarkennettua oman pääosansa alle. Nimen loppuosa eli sijaintitieto on ensimmäiseltä arvoltaan sama välituella ja rakenneosassa. Hierarkia on manttelin tapauksessa seuraava, kun silta on sama kuin edellisessä tapauksessa, mutta Välituki 2 V/O on perustettu lyöntipaaluilla ja Välituki 3 V/O porapaaluilla:

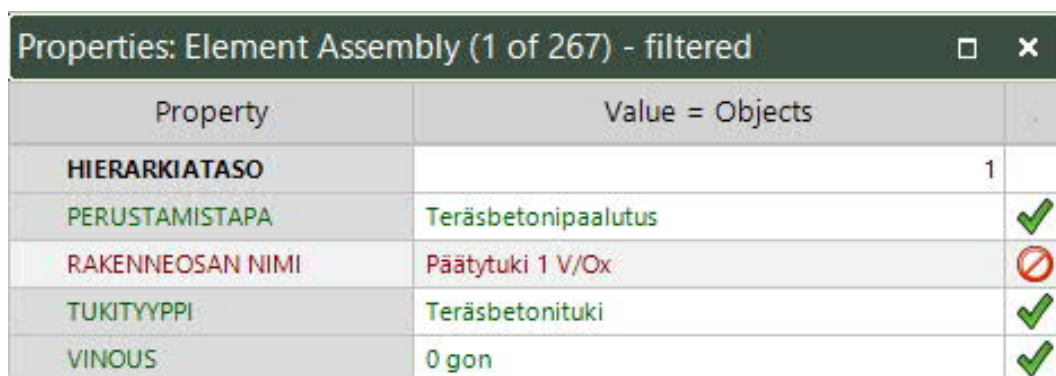
- Mantteli 2 1 → Lyöntipaalu 2 1
- Mantteli 2 2 → Lyöntipaalu 2 2
- Mantteli 3 1 → Porapaalu 3 1
- Mantteli 3 2 → Porapaalu 3 2.

Edellä mainituilla tavoilla yksinkertaisiin siltakohteisiin olisi mahdollista johtaa rakennehierarkia ainoastaan rakenneosien nimien kautta. Tämä vaatii kuitenkin suuren määrän määrittelyehtoja ja voi olla vaikea toteuttaa niin, että menetelmä toimisi jokaisessa vastaan tulevassa siltakohteessa.

### 3.5 Validoitu siirtomalli

*Siirtomalli* on nimitys mallinnusohjelmistolla tuotetusta Liikenneviraston nykyisten ohjeiden vaatimukset täyttävästä IFC-mallista. Taitorakennerekisterin rajapintaan soveltuva IFC-mallista käytetään tässä tutkimuksessa nimitystä *validoitu siirtomalli*. Validoitu siirtomalli täyttää Liikenneviraston sille asettamat uudet vaatimukset tietosisällöltään. Tietosisällön validoinnin lisäksi siirtomallille on tehtävä ”silämääräinen” tarkastus geometrialle. Mikäli on epäilystä, että mallissa on päällekkäisiä rakenneosia, on sille syytä tehdä myös törmäystarkastelu siihen soveltuvalla ohjelmistolla. Kaikki puutteet joita ei saada korjattua, kirjataan kohteen tietomalliselostukseen (Liikennevirasto 2014a s. 54). Mallintamisen geometrinen tarkkuus mallin eri osilla vaihtelee sen mukaan, mitä rakenteella kuvataan. Siltapaikan luiskilta ei vaadita samaa tarkkuutta kuin teräksisen palkin uumajäykisteeltä, tämä tulee huomioida myös geometrian tarkastusta tehdessä. Mallien geometrisen tarkkuuden merkittävyys voi jatkossa kasvaa, mikäli rakentamista ohjataan yhä enemmän mallipohjaisemmaksi. Tämä voi tarkoittaa käytännössä *perinteisistä piirustuksista luopumista*.

Validointi tarkoittaa tässä yhteydessä IFC-muodossa olevan siirtomallin tietosisällön tarkastamista ja soveltuvuuden todentamista Liikenneviraston Taitorakennerekisterin rajapintaan viemistä taustalla ajatellen. Tietosisällön tulee olla oikeassa sijainnissaan ja oikeassa muodossaan, jotta kohteen tietokannassa olevilta virheiltä vältytään ja siirto onnistuu ongelmitta. Kuvassa 15 on esitetty, miltä validoitu tieto näyttää Simplebimissä. Arvot, joita ei ole validointipohjassa sallittu, erottuvat punaisella merkinnällä.



Property	Value = Objects	
HIERARKIATASO	1	
PERUSTAMISTAPA	Teräsbetonipaalutus	✓
RAKENNEOSAN NIMI	Päätytuki 1 V/Ox	✗
TUKITYYPPI	Teräsbetonituki	✓
VINOUS	0 gon	✓

**Kuva 15.** Validoitu tietosisältö.

Validointi tehtiin Datacubistin Simplebim ohjelmistoa sekä sen kanssa yhteensopivaa Excel-validointipohjaa käyttäen. Validointiprosessi aloitetaan tekemällä mallinnusohjelmiston puolella IFC-tulostus, jonka tuloksena saadaan validoimaton siirtomalli. Mallinnusohjelmistojen IFC-tulosteet sisältävät paljon ylimääräistä tietoa, joten validoinnin yhteydessä tehdään myös mallien siistimistä. Tavoitteena on, että mallit sisältävät vain oleellista tietoa osa- ja kokoonpanotasoilla.

Validoimaton siirtomalli avataan IFC:n muokkausohjelmistossa ja sen tietosisältö käydään läpi validointipohjalla. Validointia voidaan tehdä vain tekstimuodossa olevalle tietosisällölle. Validointipohjaan määritetään aluksi jokaiselle IFC-mallin attribuutille tunnus, nimi ja tyyppi. Attribuutin tunnuksen ja tyyppin tulee vastata IFC-tulostuksessa määritettyjä arvoja eli rakenneosan pituuden kertova attribuutti ei voi olla tekstimuodossa. Tätä tutkimusta tehdessä, Tekla Structuresiin ei ollut vielä mahdollista lisätä esimerkiksi pohjapaineiden yksiköitä osien ja kokoonpanojen attribuuttikenttiin. Nämä tiedot oli lisättävä tekstityyppisenä attribuuttina, joten ne näkyvät tekstinä myös siirtomallissa. Tavoitteena on, että jatkossa jokainen lukuarvo on oikeassa muodossaan jo IFC-tulosteessa. Attribuutin nimen (property) tai attribuuttikentän arvon (value) voi määrittää validointipohjassa uusiksi, mikäli se on tulostettuun malliin tullut väärin tai tarkoituksella kirjoitettu tiettyyn muotoon. Attribuuttikenttien arvoja jouduttiin Tekla Structuresin puolella lyhentämään osatasolla, jossa osien nimet oli merkkirajoitettu 21 kappaleeseen. Nämä lyhennetyt nimet korjattiin validointipohjalla täyteen mittaansa (Tiekaiteen j 1-5 0.5 → Tiekaiteen johde 1-5 0.5).

Kun IFC-mallin attribuutit on määritetty, voidaan seuraavaksi karsia tietosisältöä eri tyyppisiltä rakenneosilta. Tiedon karsiminen on hyvä aloittaa tyhjentämällä ensiksi kaikki

rakenneosien attribuuttitiedot, jotta malliin ei jää epähuomiossa ylimääräistä tietoa. Tämä myös auttaa pysymään paremmin perillä siitä, mitä tietoa malliin on lisätty. Rakenneosat on jaoteltu validointipohjassa IFC-standardin mukaisiin elementtityyppeihin (wall, beam, column, slab, member, footing, element assembly jne.), joiden tasolla siistimistä voidaan tehdä. Voidaan esimerkiksi määrittää, että vain laattaobjekteilla (slab) voi olla pohjapaineen ilmoittava attribuutti. Siistimistä voidaan tehdä myös kokoonpanotasolla (element assembly). Validointipohjalla onnistuu attribuuttien poistamisen lisäksi myös niiden muuttaminen ja lisääminen. Kun toivottu attribuuttisisältö on saatu aikaiseksi, voi mallin attribuuttien tiedon validoida. Validointi aloitetaan määrittämällä, mitä attribuutteja halutaan validoida. Seuraavaksi määritetään sallitut arvot näille attribuuteille. Validointia voidaan tehdä esimerkiksi rakenneosan nimen tai materiaalin mukaan.

### 3.6 Rajapinta

Tämän tutkimuksen laajuuden rajausta tehtiin validoituun siirtomalliin. Seuraavassa vaiheessa siirtomalli viedään Taitorakennerekisterin rajapintaan, jonka kautta sillä muodostetaan kohteen rakennekuvaus ja geometriamalli. Rajapinta muodostetaan siten, että se kerää tietoa siirtomallista vain ePset\_Liikennevirasto-määrittelyjen alta. Taitorakennerekisteriin luetaan vain ne tiedot, joille löytyy vastaavuus järjestelmän tietokannasta (Tantarimäki N. 2018). Siirtomalli voi sisältää tämän vuoksi myös muuta kuin Liikenneviraston vaatimaa tietoa. Rakennekuvauksessa ei ole esimerkiksi vaadittu sillan raudoituksen positioita tai betonipeitteitä, joita kohteen urakoitsija tarvitsee rakennusvaiheessa. Urakoitsijan tarvitsemat tiedot voitaisiin määrittellä eri skeeman alle ”ePset\_Urakointi”, jolloin ne eivät siirry rajapinnasta eteenpäin. Ylimääräisen tiedon osalta voidaan tehdä kuitenkin rajauksia, jotta siirtomallissa on vain tarvittava tietosisältö sen tarkastukseen, toteuttamiseen ja ylläpitoon.

Myöhemmässä vaiheessa kehitettävä geometriamalli integroidaan osaksi Taitorakennerekisteriä siten, että kohteen ylläpidon aikaiset vauriokirjaukset voidaan kirjata suoraan malliin eli siitä tulee eräänlainen ylläpitomallin käyttöliittymä. Malliin tehdyt kirjaukset ovat yhteydessä sillan rakennekuvauksen tietosisältöön, jolloin rakennekuvauksen tietosisällön päivittyminen esimerkiksi siltatarkastuksen yhteydessä voisi tapahtua reaaliajassa. Korjaussuunnittelijan kannalta hyödyllistä olisi, mikäli geometriamallista voitaisiin tehdä suoria tulostuksia käytettäväksi lähtötietona suunnittelussa. Geometriamallista tehtyjen tulosteiden tulisi tällöin olla mittatarkkoja ja sisältää kaikki siltaan ajan saatossa tehdyt korjaukset ja muutokset. Tulosteiden tulisi myös olla siinä muodossa, jossa suunnittelussa käytettävät mallinnusohjelmistot voivat niitä hyödyntää.

### 3.7 Ylläpitomalli

Rajapinnan kautta muodostettava rakennekuvaus ja geometriamalli ovat yhdessä kohteen varhainen ylläpitomalli. Ylläpitomallin tulee sisältää kaikki sillan ylläpidon kannalta merkittävät eri tekniikkalajien mallit (Liikennevirasto 2014a s. 36). Poikkeuksena nykyiseen Siltojen tietomalliohjeen 6/2014 kappaleeseen 6.1, ylläpitomalli muodostetaan heti kohteen rakennussuunnitteluvaiheen jälkeen. Tästä voisi olla jatkossa kuitenkin järkevää poiketa esimerkiksi ST-hankkeissa, joissa suunnittelu- ja rakentamisvaihe ovat hyvin lähellä toisiaan. Näissä kohteissa rajapintaan voitaisiin viedä suoraan toteumamalli, jolloin välttyään yhdeltä välivaiheelta. Ylläpitomallin tietosisällön laajentaminen muiden tekniikkalajien tietomallien osalta, voitaisiin tehdä myös erillisten kehitettävien rajapintojen kautta. Tärkeää on vain, että tieto on normalisoitua ja validia.



## 4. SIIRTOMALLIEN PILOTOINTI

### 4.1 Käytetyt ohjelmistot

Tutkimustyö tehtiin pääosin nykyisin Trimblen omistuksessa olevalla Tekla Structuresilla (versio 2017i SP4). Tekla Structures on rakennesuunnittelussa käytettävä BIM-ohjelmisto. Sitä voidaan käyttää muun muassa siltojen sekä teollisuus- ja asuinrakennusten rakentamisessa ja suunnittelussa. (Tekla Structures 2018.)

Mallien tarkasteluun käytettiin Trimblen Tekla BIMsightia (versio 1.9.9) ja muokkaukseen Datacubistin Simplebimiä (versio 7.0 SP4). Tekla BIMsight on eri suunnitteluosapuolien mallien yhdistelyyn ja törmäystarkasteluihin soveltuva ohjelmisto, jolla ei voi kuitenkaan tehdä muokkauksia mallien tietosisältöihin (Tekla BIMsight 2018). Simplebim on IFC-mallien yhdistelyyn ja muokkaukseen soveltuva ohjelmisto (Simplebim 2018).

Autodeskin Revitillä (versio 2018) testattiin myös kokoonpanojen kautta tehtävää hierarkiaa, mutta sen käytössä havaittiin ongelmia. Mikäli Revitillä tehdään malliin samanlaisia kokoonpanoja (assembly), kokoa Revit ne automaattisesti samalle nimelle. Tästä syystä esimerkiksi kaikki välituen alla olevat pilari-antura-kokoonpanot, jotka ovat mallin nusobjekteiltaan yhteneviä, ovat samalla nimellä Pilari 1 1. Jokaisen Revitillä tehdyn kokoonpanon tulisi poiketa hieman toisistaan, jotta rakennehierarkiakokonaisuudet muodostuvat oikein. Revitin tavassa kytkeä raudoitukset pääosiinsa kokoonpanojen alla, havaittiin myös poikkeavuutta Tekla Structuresiin, kun osien hierarkiaa tutkittiin Simplebimissä. Revitistä ei saatu myöskään tulostettua ulos hierarkiatason (hierarchy level) attribuuttia. Tästä oltiin yhteydessä Autodeskin tukeen ja vastaukseksi saatiin, että tietoa ei toistaiseksi saada ulos ohjelmistosta, mutta on mahdollista, että siihen tehdään jatkossa korjaus (Autodesk 2018). Ilman tietoa hierarkiatasosta mallista ei saada suodatettua IFC:n tarkasteluohjelmistoilla hierarkioita näkyviin.

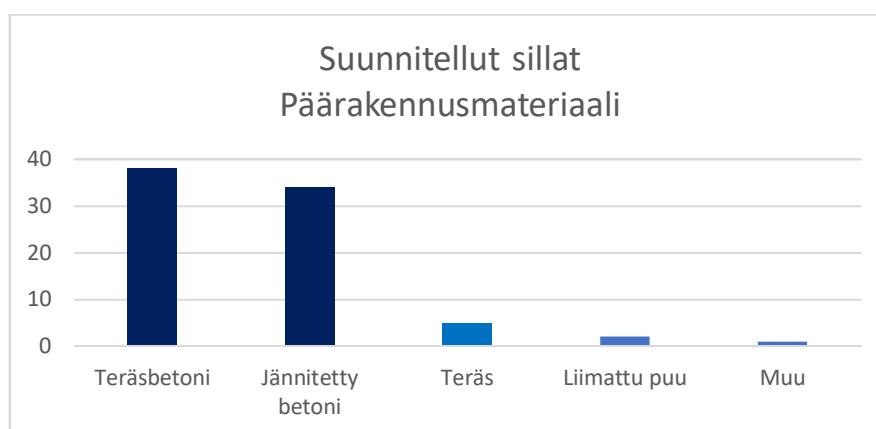
Revitillä testattiin rakennehierarkian tekemistä myös ryhmillä (groups). Näillä saatiin vastaavanlainen hierarkiarakenne toistettua kuin Tekla Structuresilla. Ryhmiä voi muokata Simplebimissä Group Editor -työkalulla. Pilari-antura-yhdistelmässä antura ei tosin näkynyt aluksi oikein pilarin alla, vaan ne olivat samalla tasolla. Ongelma korjaantui, kun anturan liitti pilarin alle New Child Group -komennolla. Group-yhdistelmät eivät sisällä itsessään geometriaa tai sijaintitietoa, joten ne toimivat vain osia keräävinä tasoina. Mallinnettu osa voi olla samaan aikaan useamman eri ryhmän alla, kun kokoonpanoissa osat ovat aina vain yhdessä kokoelmassa kerrallaan.

## 4.2 Case-kohteet

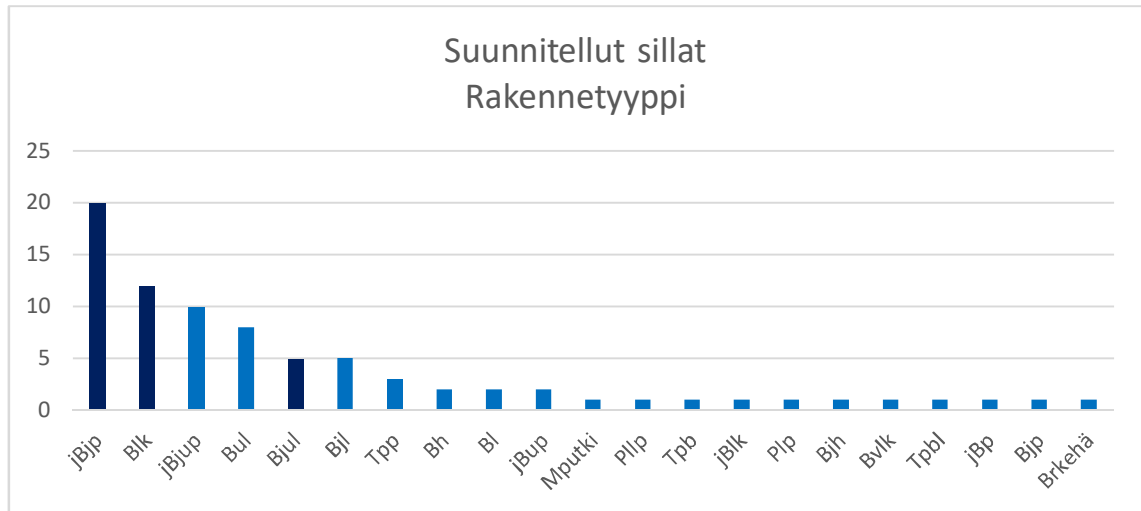
Tämän tutkimuksen case-kohteiksi valikoitiin siltatyyppejä, joilla saadaan testattua rakennehierarkia ja tietosisällön laajennukset yleisimpien rakennettavien siltöjen kohdalla. Siltöjen tietokanta haettiin Liikenneviraston Taitorakennerekisteristä rajaamalla haku nykyisin rakennettaviin siltöihin. Hakukriteereinä käytettiin kuormitusta (LM1, LM2 / 5.9.2014), omistajaa (Liikennevirasto), valmistusvuotta (2014 tai uudempi) sekä päärakennusmateriaalia. Mikäli päärakennusmateriaalia ei ollut ilmoitettu, kohde jätettiin pois taulukoinnista.

Teräsputkisillat, teräsholvisillat sekä teräskaarisillat (ns. aallotetut teräsputket) rajattiin tarkoituksella ulos hausta sekä diplomityön case-kohteista. Tputki (teräksinen putkisilta) olisi ollut Suomessa yleisin siltöjen rakennetyyppi näiden hakutulosten perusteella. Niitä Taitorakennerekisterin mukaan suunniteltu yli 70 kohdetta edellä mainittujen hakukriteerien mukaan rajattuna, kun seuraavaksi yleisintä, jBjp (jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta), on suunniteltu 20 kohteen laajuudella.

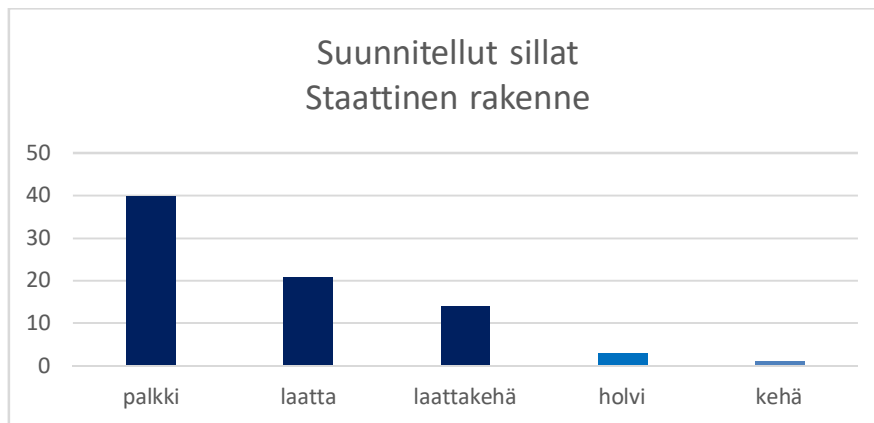
Haun perusteella yleisimmät päärakennusmateriaalit olivat teräsbetoni ja jännitetty betoni. Yleisimmät staattiset rakenteet olivat palkki, laatta ja laattakehä. Yleisimmät siltöjen rakennetyypit olivat jBjp, Blk (teräsbetoninen laattakehäsilta) ja jBjup (jännitetty betoninen jatkuva ulokelaattasilta). Näiden hakutulosten sekä saatavilla olevien tietomallinnettujen suunnittelukohteiden perusteella case-kohteiksi valikoitui jBjp, Bkl II (teräsbetoninen laattakehäsilta, vinojalkainen) sekä Bjul (teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta). Kuvissa 16, 17 ja 18 on esitetty diagrammeina edellä mainittujen hakukriteerien mukaiset tulokset.



**Kuva 16.** Suunnitellut sillat päärakennusmateriaalin mukaan.



**Kuva 17.** Suunnitellut sillat rakennetyypeiltään.

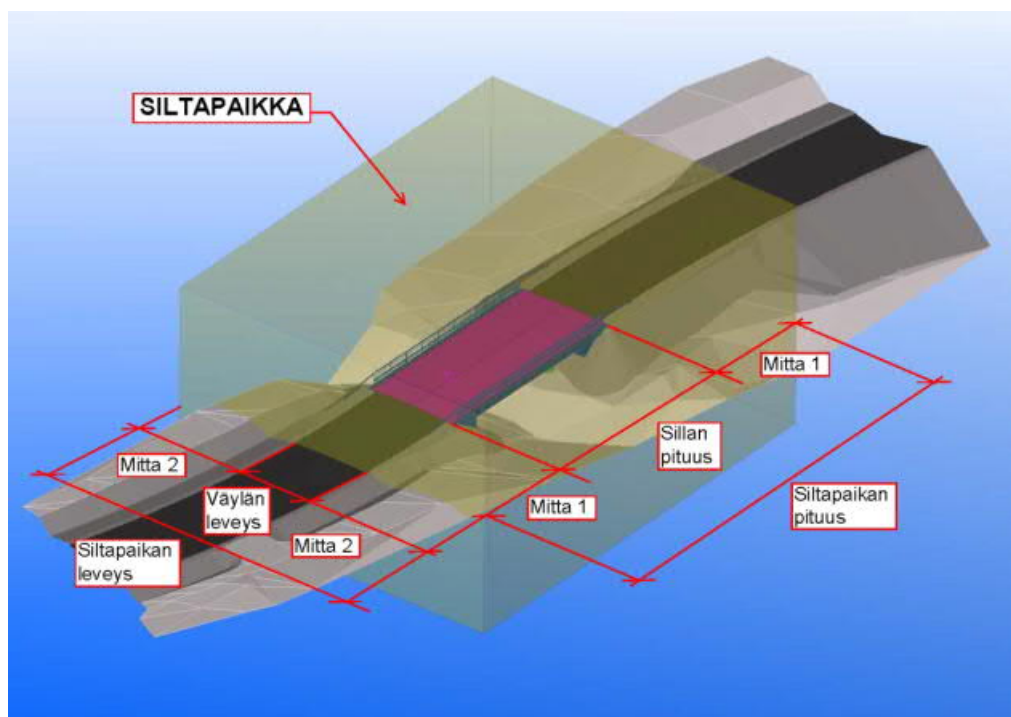


**Kuva 18.** Suunnitellut sillat staattisen rakenteen mukaan.

Näillä kohteilla katetaan suuri osa Suomeen rakennettavasta uudesta siltakannasta. Ohessa on ilmoitettu tulokset prosentteina, suluissa oleva arvo huomio teräksiset putkisillat laskennassa. Päärakennusmateriaalin mukaan näillä kohteilla katetaan 90 % (44 %), rakennetyypin mukaan 46 % (23 %) ja staattisen rakenteen mukaan 95 % (47 %) Liikenneviraston uudiskohteista.

Valittujen case-kohteiden sisällön tarkkuutta verrattiin vain standardikuvauksien tasoon, joten immateriaaliobjekteja, kuten sillan pääpisteitä, hyödyllistä leveyttä ja aukko vaatimuksia, ei ole esitetty. Nämä osat kuitenkin lisätään omalle tasolleen ja säilytetään case-kohteiden siirtomalleissa Taitorakennerekisterin rajapinnan jatkokehitystä taustalla ajatellen. Siltapaikan ympäristön rakenteita, joilla voi olla vaikutusta kohteen rakentamiseen, ei ole esitetty myöskään case-kohteissa. Mikäli kohteesta on ollut saatavilla näitä tietoja, ne on kuitenkin säilytetty case-kohteissa omalla tasollaan. Alkuperäisiin tietomalleihin on tehty muutoksia ja korjauksia, jotta ne on saatu vastaamaan paremmin standardikuvauksia. Case-kohteita ei ole kuitenkaan korjattu vastaamaan täysin rakennussuunnittelutasoa, korjauksia ja lisäyksiä on tehty vain rakennehierarkian testaamisen vaatimalta osuudelta.

Natiivimalleille tehtiin tarkastus, jossa selvitettiin, kuinka hyvin niiden mallinnustarkkuus täyttää tämän hetkiset Liikenneviraston asettamat vaatimukset rakennussuunnitelmatasoiselle tietomallille. Liikenneviraston vaatimukset koskevat vain IFC-muotoista siirtomallia, joten Siltojen tietomalliohjetta 6/2014 on käytetty tarkastuksessa soveltaen. Tarkastus on kohdistettu sillan mallinnustarkkuuteen ei tietosisältöön, johon tehtiin lisäyksiä tietosisällön laajennuksen yhteydessä. Siltapaikan laajuuden vaatimukset on sovellettu kuvan 19 mukaisesti Liikenneviraston Taitorakenteiden suunnittelun lähtötietojesta 21/2014 (Liikennevirasto 2014b s. 17-19).



**Kuva 19.** Siltapaikan määrittäminen (Liikennevirasto 2014b s.19).

Siltojen tietomalliohjeesta 6/2014 on valittu tarkastuksessa sovellettavaksi seuraavat kohdat:

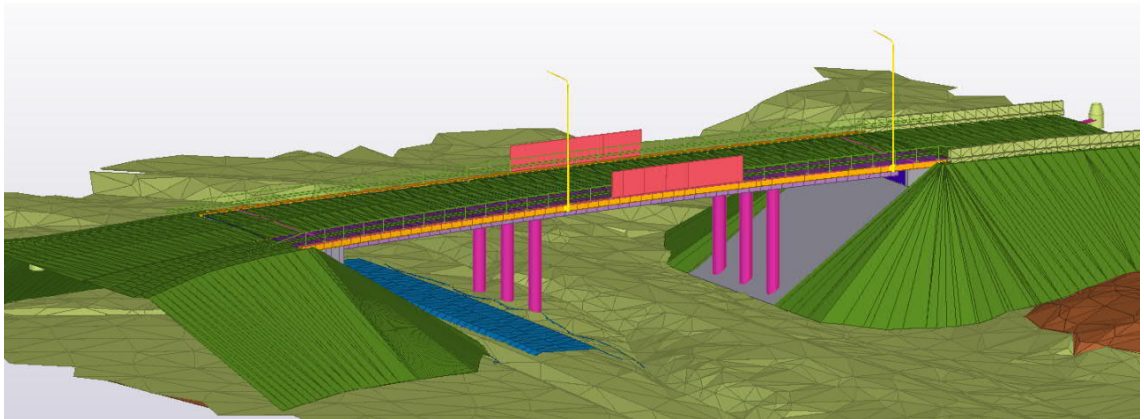
- 4.6 Rakennussuunnittelu
- 4.7 Tekniset ohjeet rakennussuunnitteluvaiheeseen
- 4.8 Muita yksityiskohtia
- Liite 2.

#### 4.2.1 Case 1: Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta (jBjp)

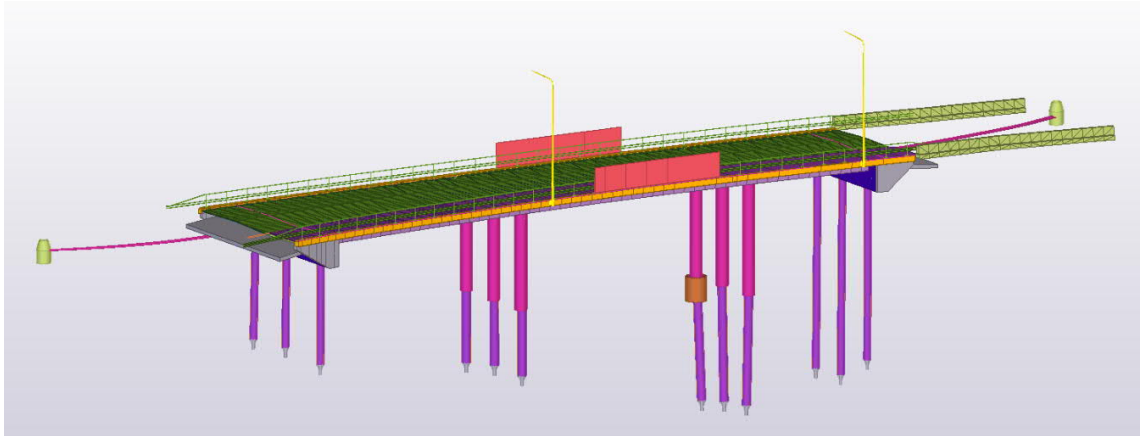
Case 1 -kohteeksi valittiin päärakennusmateriaaliltaan jännitetystä betonista suunniteltu palkkisilta. Kuvassa 20 on esitetty siltapaikka kokonaisuudessaan ja kuvassa 21 ilman siltapaikan rakenteita, josta sillan rakenteen havaitsee paremmin. Sillan ylittää kaksi ajokaistaa sekä kevyen liikenteen väylä ja alittaa yksityistie sekä rata. Silta on kolmiaukkoinen.

Yleistä tietoa kohteesta (Taitorakennerekisteri 2018):

- Suunnittelukuorma= LM1, LM3 / 5.9.2014
- Käyttötarkoitus= Risteyssilta, Ylikulkusilta
- Valmistumisvuosi= 2016
- Jännemitat= 20,51 m + 22,01 m + 11,51 m
- Hyödyllinen leveys= 12,5 m - 14,8 m
- Kokonaisleveys= 13,3 m - 15,6 m
- Kokonaispituus= 61,2 m
- Kannen pituus= 55 m.



**Kuva 20.** Case 1: jBjp standardikuvauksen laajuudessa.



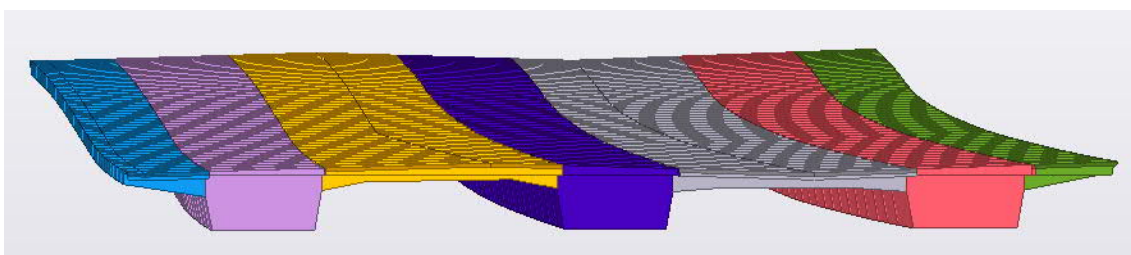
**Kuva 21.** Case 1: jBjp ilman siltapaikan rakenteita.

Mallinnustarkkuudessa havaittiin seuraamat poikkeamat (lajittelu rakenneosaryhmittäin):

- Alusrakenne
  - Tukilinoja ei ole mallinnettu.
  - Geoteknisiä rakenteita (massanvaihdot, täytöt jne.) ei ole mallinnettu.
- Päällusrakenne

- Kansilaatasta ei ole eroteltu laattaa, palkkeja ja reunaulokkeita erillisille rakenneosille. Tämä on uusi vaatimus, joka otetaan käyttöön uusien ohjeiden mukana (Myllymäki, H. 2018).
- Pintarakenne
  - Ei havaittu poikkeamia.
- Varusteet ja laitteet
  - Kaiteiden osat eivät kuulu samalle kokoonpanolle.
- Siltapaikan rakenteet
  - Siltapaikan rakenteita (etuluiskat, keilat jne.) ei ole mallinnettu.
  - Siltapaikan laajuus ei täytä sille asetettuja vaatimuksia.

Tietomallista jouduttiin muokkaamaan päällysrakenteesta kansilaatan rakenneosat kuvan 22 mukaisesti sekä niiden raudoituksien liittäminen uudelle pääosalleen. Suuri osa raudoituksista oli tehty komponenteilla, joten jokainen niistä tuli ensiksi ”hajottaa” (explode) ennen kuin ne voitiin liittää uudelleen. Jaottelu sen mukaan, mikä osa kansilaatan raudoituksista kuuluu millekin rakenneosalle, jää osittain suunnittelijan tulkittavaksi. Näihin rajanvetoihin pyritään kuitenkin tulevaisuudessa ohjeissa ottamaan kantaa, jotta eri suunnittelijoiden tekemät tulkinnat eivät eroa merkittävästi toisistaan (Sonninen A. 2018).



**Kuva 22.** Case 1: jBjp Kansilaatan jakaminen osiin.

Vedeneristykset oli mallinnettu pintakäsittelytyökalulla (surface treatment). Tutkimuksessa käytetty kokoonpanojen kautta tehty hierarkiarakenne ei tukenut näin tehtyjä vedeneristyskiä. Niitä ei saanut liitettyä kokoonpanojen alle, joten kaikki vedeneristykset korjattiin Part-tyyppisiksi objekteiksi.

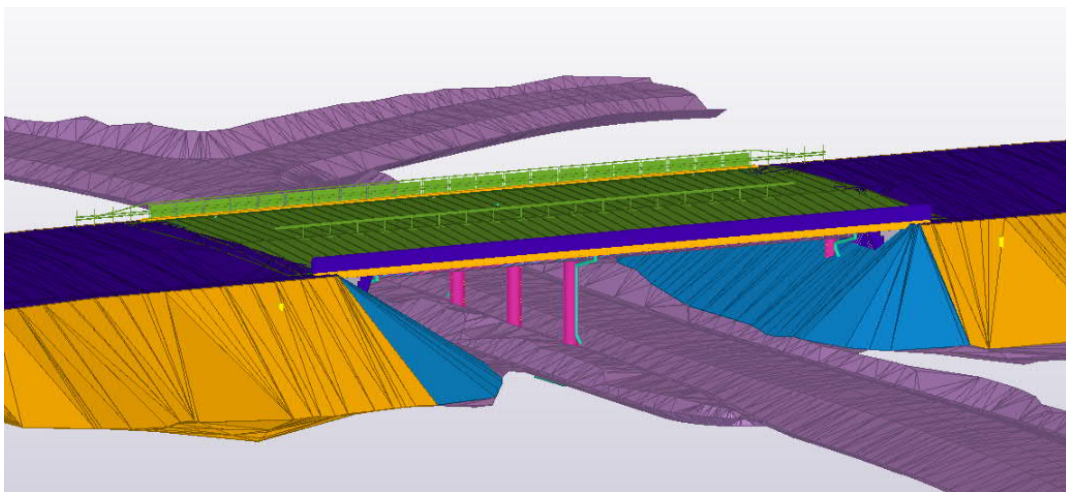
Siltapaikan ympäristö tuotiin malliin DWG-muotoisena Tekla Structuresin Import-työkalulla, jolloin ohjelmisto muuntaa sen natiivimuotoon ja sen muokkaaminen on näin mahdollista. DWG-tiedostot oli tallennettu alun perin 2018 muodossa, joten ne tuli ensiksi tallentaa vanhempaan formaattiin, jotta mallinnusohjelmisto pystyi lukemaan niitä. Muokkaus tehtiin Autodeskin Autocadilla. DWG-malleja tuodessa tuli olla tarkkana, että DWG:ssä on vastaavat mittayksiköt (units) piirustusohjelmassa ja piirustuksen osissa. Joissain tapauksissa DWG-tiedostot olivat joltain osin ”saastuneita” ja niiden sisältämät viivat tuli viedä kokonaan uuteen piirustusohjelmaan. Tietosisällön lisäys tehtiin jokaiselle rakenneosalle ja kokoonpanotasolle uusien määrittelyjen mukaisesti.

#### 4.2.2 Case 2: Teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta (Bjul)

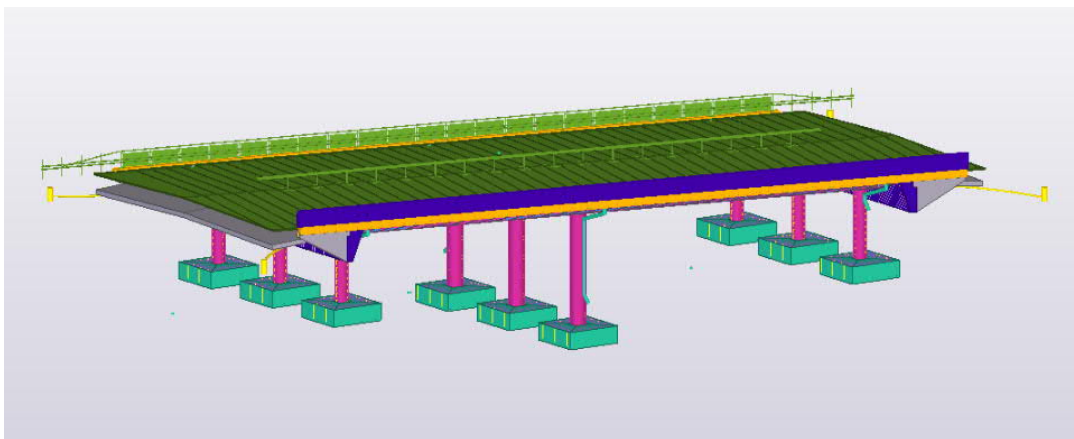
Case 2 -kohteeksi valittiin päärakennusmateriaaliltaan teräsbetonista suunniteltu ulokelaattasilta. Kuvassa 23 on esitetty siltapaikka kokonaisuudessaan ja kuvassa 24 ilman siltapaikan rakenteita. Sillan ylittää neljä ajokaistaa ja alittaa kaksi ajokaistaa sekä oja. Silta on kaksiaukkoinen.

Yleistä tietoa kohteesta (Taitorakennerekisteri 2018):

- Suunnittelukuorma= LM1, LM3 / 6.12.2017
- Käyttötarkoitus= Risteyssilta
- Valmistumisvuosi= -
- Jännemitat= (1,5 m) + 16,0 m + 19,0 m + (1,5 m)
- Hyödyllinen leveys= 19,5 m
- Kokonaisleveys= 20,3 m
- Kokonaispituus= 45,0 m
- Kannen pituus= 38,0 m.



**Kuva 23.** Case 2: Bjul standardikuvauksen laajuudessa.



**Kuva 24.** Case 2: Bjul ilman siltapaikan rakenteita.



Natiivimallille tehtiin vastaavanlainen tarkastus ja tietosisällön lisäys kuin case 1 -kohteelle. Mallinnustarkkuudessa havaittiin seuraavat poikkeamat:

- Alusrakenne
  - Tukilinoja ei ole mallinnettu.
- Päälysrakenne
  - Kansilaatasta ei ole eroteltu laattaa ja reunaalokkeita erillisille rakenneosille. Tämä on uusi vaatimus, joka otetaan käyttöön uusien ohjeiden mukana. Mikäli reunaaloke täyttää määrätyt ehdot, se tulee mallintaa erillisenä rakenneosana myös laattasilloissa (Myllymäki, H. 2018).
- Pintarakenne
  - Ei havaittu poikkeamia.
- Varusteet ja laitteet
  - Kaiteiden osat eivät kuulu samalle kokoonpanolle.
- Siltapaikan rakenteet
  - Siltapaikan rakenteita (etuluiskat, keilat jne.) ei ole mallinnettu.
  - Siltapaikan laajuus ei täytä sille asetettuja vaatimuksia.

Tietomalliin lisättiin siltapaikan rakenteista tiet siltapaikalle, teiden luiskat, sillan etuluiskat ja keilat sekä osa siltapaikan ympäristöstä. Siltapaikan rakenteet tuotiin malliin kuten case 1 -kohteessa. Kansilaattaa ei eroteltu tässä kohteessa osiin, vaan sovittiin, että kansilaatan hierarkian laajempi testaaminen muissa case 1 -kohteissa riittää. Tietosisällön lisäys tehtiin jokaiselle rakenneosalle ja kokoonpanotasolle uusien määrittelyjen mukaisesti.

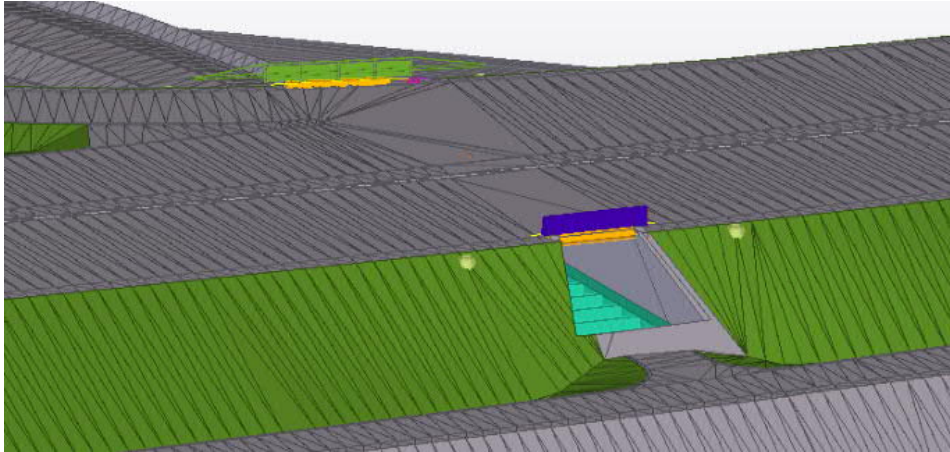
### 4.2.3 Case 3: Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II)

Case 3 -kohteeksi valittiin päärakennusmateriaaliltaan teräsbetonista suunniteltu vinojalainen laattakehäsilta. Kuvassa 25 on esitetty siltapaikka kokonaisuudessaan ja kuvassa 26 ilman siltapaikan rakenteita. Sillan ylittää kuusi ajokaistaa ja alittaa kevyen liikenteen väylä.

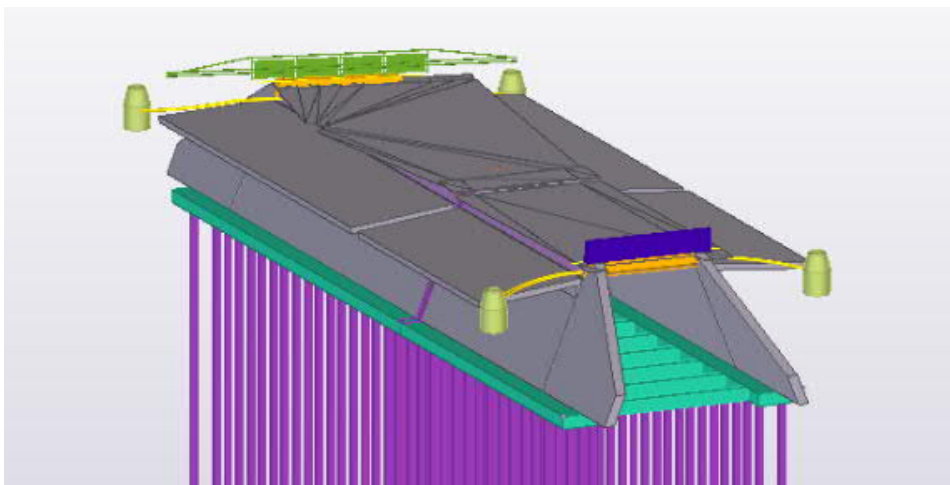
Yleistä tietoa kohteesta (Taitorakennerekisteri 2018):

- Suunnittelukuorma= LM1, LM3 / 1.6.2010
- Käyttötarkoitus= Alikulkukäytävä
- Valmistumisvuosi= 2016
- Jännepituus= 5,3 m
- Hyödyllinen leveys= 32,78 m - 33,98 m
- Kokonaisleveys= 46,85 m - 47,94 m (siipimuurien päästä päähän)
- Kokonaispituus= 9,96 m
- Kannen pituus= 5,6 m.





**Kuva 25.** Case 3: Bkl II standardikuvauksen laajuudessa.



**Kuva 26.** Case 3: Bkl II ilman siltapaikan rakenteita.

Natiivimallille tehtiin vastaavanlainen tarkastus ja tietosisällön lisäys kuin case 1 -koh-  
teelle. Mallinnustarkkuudessa havaittiin seuraavat poikkeamat:

- Alusrakenne
  - Tukilinoja ei ole mallinnettu.
  - Geoteknisiä rakenteita (massanvaihdot, täytöt jne.) ei ole mallinnettu.
  - Peruslaattoja ei ole jaettu valuyksiköihin.
- Päällysrakenne
  - Laattaa ja kehäjalkoja ei ole jaettu valuyksiköihin.
- Pintarakenne
  - Pintarakenteita ei ole mallinnettu.
- Varusteet ja laitteet
  - Siirtymälaattoja ei ole jaettu valuyksiköihin.
- Siltapaikan rakenteet
  - Siltapaikan rakenteita ei ole mallinnettu.
  - Siltapaikan laajuus ei täytä ylittävän väylän poikkisuunnassa sille asetet-  
tuja vaatimuksia.

Tietomalliin lisättiin pintarakenteiden ylin pinta, joka ei täytä yksistään Siltojen tietomalliohjeen vaatimuksia rakennussuunnitteluvaiheen mallille. Se olisi riittävä tarkkuus vain esi-, yleis- ja siltasuunnitteluvaiheissa (Liikennevirasto 2014a s.19-23). Tämän kohteen yhteydessä kuitenkin sovittiin, että pintarakenteiden hierarkian laajempi testaaminen muissa case-kohteissa riittää. Sillan rakenneosien jakaminen valuyksiköihin olisi vaatinut kohteen uudelleen mallintamisen suurelta osin, joten siitä luovuttiin myös. Siltapaikan rakenteista tietomalliin lisättiin tiet siltapaikalle, teiden luiskat sekä osa siltapaikan ympäristöstä. Siltapaikan rakenteet tuotiin malliin kuten case 1 -kohteessa. Tietosisällön lisäys tehtiin jokaiselle rakenneosalle ja kokoonpanotasolle uusien määrittelyjen mukaisesti.

### 4.3 Mallinnusohjelmistojen kehitystarpeet

Mallinnusohjelmistoon tehtiin osien ja kokoonpanojen välilehdille tietokenttien lisäyksiä sekä mallien osien mallinnustarkkuutta korjattiin tutkimuksessa havaittujen puutteiden osalta. Kehitystarpeiden kappaleissa on esitetty myös muita parannusehdotuksia, joiden käyttöönotolla suunnittelusta saadaan tehokkaampaa. IFC-mallien tarkasteluohjelmistoihin ei oteta seuraavissa kappaleissa juurikaan kantaa. Niihin olisi kuitenkin kaivannut muun muassa parempia suodatustoimintoja, jotka voisivat olla vastaavanlaisia kuin mallinnusohjelmistoissa. Tällä tavoin mallien tarkastelusta saisi selkeämpää.

#### 4.3.1 Tietosisällön laajentaminen

Mallinnusohjelmistoilla ei voi sellaisenaan tuottaa uusien tietosisältövaatimusten mukaisia siirtomalleja, sillä niissä ei ole sisäänrakennettuina kaikkia tarvittavia attribuutteja ja materiaaleja. Mikäli siirtomallin rakennehierarkia tehdään kokoonpanotasojen kautta, vaatii se uusien vaatimusten mukaisten attribuuttien lisäyksiä mallinnusohjelmiston osien ja kokoonpanojen välilehdille. Tekla Structuresissa nämä lisäykset tehtiin `objects.inp` -nimistä tiedostoa muokkaamalla. Uusien materiaalien lisäys onnistui suoraan mallin kautta. Suunnittelijoiden voi olla haastavaa olla perillä jokaisen tietokentän sallitusta arvosta, joten voi olla järkevintä tehdä alasvetovalikoita kaikille vakioiduille arvoille. Kuvassa 27 on esitetty Taitorakennekisterin koodistosta löytyvät sallitut suojausmenetelmien arvot. Vastaavanlaisen valikon tekeminen onnistuu mallinnusohjelmiston puolella. Valikot vaativat hieman ylläpitoa, sillä ne tulee päivittää aina Taitorakennekisteriin tehtyjen muutosten pohjalta, mutta saavutettava hyöty mallintamisen nopeuteen ja virheiden määrän karsimiseen on merkittävä. Yksinkertainen tapa pitää mallinnusohjelmistojen alasvetovalikot ajan tasalla Taitorakennekisterin kanssa, olisi toimittaa suunnittelijoille päivitetty tekstimuotoinen tiedosto säännöllisin väliajoin. Tiedoston tulisi olla standardisoidusti koottu, jolloin mallinnusohjelmiston valikoiden päivityksen voisi pitkälti automatisoida. Tekstimuotoisen tiedoston voisi vaihtoehtoisesti liittää osaksi Taitorakennekisteriä, jolloin suunnittelija voi sen itse noutaa.

#### Suojausmenetelmä Useampi koodiston arvo | 13 arvoa ▾

- Epoksi
- Impregnointi
- Katodinen suojaus
- Kreosoottikyllästys
- Kuumasinkitys
- Lahosuojaus
- Lämpökäsittely
- Mäntyöljykylästys
- Rasvapinnoite
- Suolakyllästys
- Suolapainekyllästys A
- Suolapainekyllästys AB
- Valu muottikangasta vasten

**Kuva 27.** Alasvetovalikko betonin suojausmenetelmille Taitorakennerekisterissä (Taitorakennerekisteri 2018).

### 4.3.2 Rakennehierarkian muodostaminen

Mallinnusohjelmistojen kokoonpanotasojen kautta tehtävää hierarkiaa ei todennäköisesti ole ajateltu käytettäväksi näin pitkälle tällä tavoin. Mikäli mallinnettava kohde on suuri ja siinä on paljon eri hierarkiatasoja, voi mallista tulla hieman kankea käyttää. Joidenkin osien liittämässä kokoonpanoihin oli ongelmia, ne tuli ensiksi räjäyttää ennen kuin kokoonpanon tekeminen onnistui. Ongelmia oli ennen kaikkea varusteiden ja laitteiden kanssa. Näiden kokoonpanojen muodostaminen oli tietomallin muokkauksen työläin vaihe, koska niissä oli paljon erilaisia osia. Työ voi helpottua, mikäli osien yhdistämistä tehdään jo osia mallinnettaessa ja mallinnustarkkuuteen tehdään korjauksia. Tutkimuksen pohjalta voisi ainakin todeta, että tällä tavoin ei ajallisesti ole järkevää lähteä muokkaamaan jo olemassa olevia tietomalleja.

Pian julkaistava IFC Bridge -standardin voisi tarjota erilaisia ratkaisuja hierarkioiden tekemiseen. Ongelmana sen hyödyntämisessä sellaisenaan on, että sen ja Liikenneviraston skeemat eroavat rakenteeltaan toisistaan. IFC-standardilla ei päästä niin syvälle rakennesien välisissä hierarkioissa, mitä Taitorakennerekisteri vaatii. Tästä syystä kokoonpanojen kautta tehtyä hierarkiaa voidaan joutua joka tapauksessa käyttämään, vaikka IFC-standardilla korvattaisiin ylempiä hierarkiatasoja. Rakenteelliset erot voivat johtua siitä, että IFC-standardilla pyritään kattamaan laajasti erilaisia rakennetun omaisuuden kohteita kaikissa elinkaaren vaiheissa, kun Taitorakennerekisteri keskittyy ennen kaikkea kohteen ylläpitoon. Taulukoissa 1. ja 2. on esitetty IFC ja IFC Bridge -standardin sekä Taitorakennerekisterin hierarkiatasot. IFC Bridge oli tätä tutkimusta tehdessä vielä kehityksen alla, joten sen perässä on luonnosmerkintä.

**Taulukko 1.** IFC-standardin päätasojen jaottelu.

IFC 2x3	Hierarkia	IFC Bridge esimerkki (luonnos)	Hierarkia
Project		Project	
Site		Site	
Building Storey	0	Slabbridge	
Element Assembly	1	Substructure	0
Part	2	Abutment	1
		Column	2

**Taulukko 2.** Taitorakennerekisterin mukainen päätasojen jaottelu.

Taitorakennerekisteri	Esimerkki	Hierarkia
Rakenneluokka	Silta	
Oletusrakenneosaryhmä	Alusrakenne	0
Päärakenneosa	Välituet/ Päätärakenteet	1
Rakenneosatyyppe	Pilaristo	2
Rakenneosatyyppe	Pilari	3
Rakenneosatyyppe	Mantteli	4

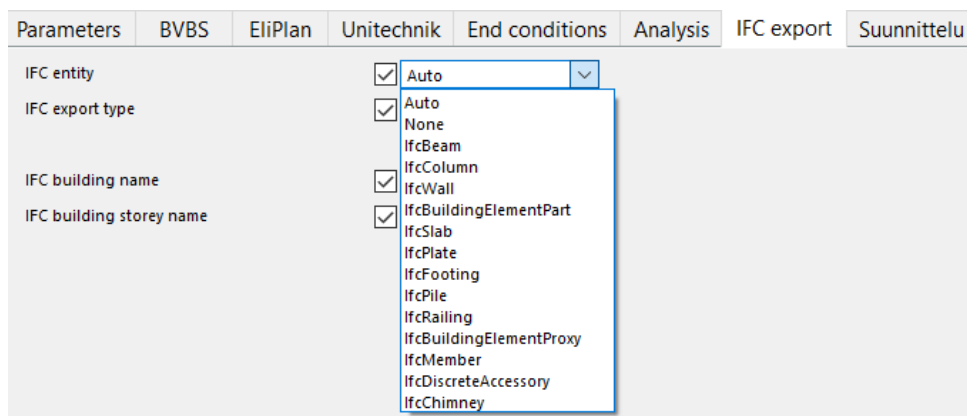
### 4.3.3 Siirtomallien tulostus ja tietosisällön karsiminen

Yksi suurimmista haasteista oli oikean geometriatiedon ulos saaminen IFC-tulostusvaiheessa. Vaihdellessa sen mukaan, kuinka rakenneosa on mallinnettu ja millainen se on tyyppiltään, esimerkiksi palkki- tai laattatyökalulla mallinnettu objekti, voi sen pituuden, leveyden ja korkeuden ilmoittavat mitat mennä sekaisin tulostuksessa. Siirtymälaitteen pi-

tuus voi tietomallissa olla 5 metriä sillansuuntaan laattatyökalulla tehtynä, mutta tulostettaessa palkkityökalulla mallinnetun siirtymälaatan pituuden tieto, sen pituus voi olla sillan leveyden suuntainen. Siirtymälaatan tapauksessa pituuden ja leveyden tulostus voi mennä helposti väärin, mutta esimerkiksi reunapalkin tapauksessa usein juuri niin kuin halutaankin, koska reunapalkit mallinnetaan lähes poikkeuksetta palkkityökalulla. Tämä riippuu siis täysin siitä, kuinka rakenneosat mallinnetaan ja tulostetaan. Nämä virheet tulee korjata IFC-tiedostojen muokkausohjelmistossa tai huomioida jo mallinnusta tehdessä.

Toinen ongelma oli rakenneosan materiaalin, lujuusluokan, laadun sekä materiaalitarkenteen ristiriitaisuus. Mallinnusohjelmistossa betonin lujuus, teräksen lujuusluokka sekä raudoitusteräksen laatu ilmoitetaan kaikki kohdassa materiaali. Tulostusta tehdessä nämä ominaisuudet tulee tulostaa saman nimen alle, koska osatason tulostuksessa mallissa käytettävä attribuutti voi olla vain yhden nimen alla. Materiaalin attribuuttia ei voida tulostaa samalle osalle lujuusluokkana, laatuna ja materiaalitarkenteena. Kokoonpanotasoilla tällaista rajoitusta ei ole. IFC-mallin tulostusvaiheessa ei voida vaikuttaa siihen, mitä attribuutteja ja millä nimellä tulostetaan, jos rakenneosan materiaali vaihtelee esimerkiksi betonin ja teräksen välillä. Tässä tutkimuksessa päädyttiin tulostamaan kaikki tiedot materiaalitarkenteen alle, korjaukset tulee tehdä IFC-tiedostojen muokkausohjelmistossa. Tämän korjauksen voisi tehdä rajapinnassa siten, että mikäli mallinnusohjelmistossa ilmoitettu materiaali on esimerkiksi C30/37, osaa rajapinta tulkita sen betoniksi ja antaa sille Taitorakennerekisterissä materiaalin betoni ja lujuusluokan C30/37 sekä sijoittaa nämä arvot omaan lokeroonsa. Tämän tyyppisiä ongelmia oli myös muilla attribuuteilla, kuten rakenneosan paksuudella, jota voidaan kuvata myös levypaksuudella tai korkeudella.

Mikäli siirtomalleista halutaan tehdä jatkossa suoraan määrälaskentaa tekemällä niistä Excel-tulostuksia, on niiden IFC Export -asetuksia järkevää muokata osatasolla. Tällä saadaan parannettua myös mallin yleistä selkeyttä. IFC-tulostuksen vakioasetukset tekevät mallien määrälaskennasta haastavaa, kun samanlaisten mallinnusobjektien tietoa löytyy eri sijainneista. Tämä voidaan korjata paneutumalla syvemmin mallien eri osien IFC-asetuksiin. Esimerkkinä paalulaatta, jossa IFC-tulosteen elementtityypeissä laatta on ”SLAB”, siinä ”MEMBER” ja paalut ”COLUMN” tai ”MEMBER”. Objektien IFC-asetuksia muokkaamalla, kaikki paalut voidaan tulostaa MEMBER-elementtityyppinä ja kaikki laatan osan SLAB-elementtityyppinä. Tällöin määrälaskentatulosteessa lukujen laskenta yksinkertaistuu. Kuvassa 28 on esitetty, kuinka elementtityyppi muutetaan Tekla Structuresissa objektin UDA-kenttien kautta.



**Kuva 28.** Elementtityypin muuttaminen TS 2017i.

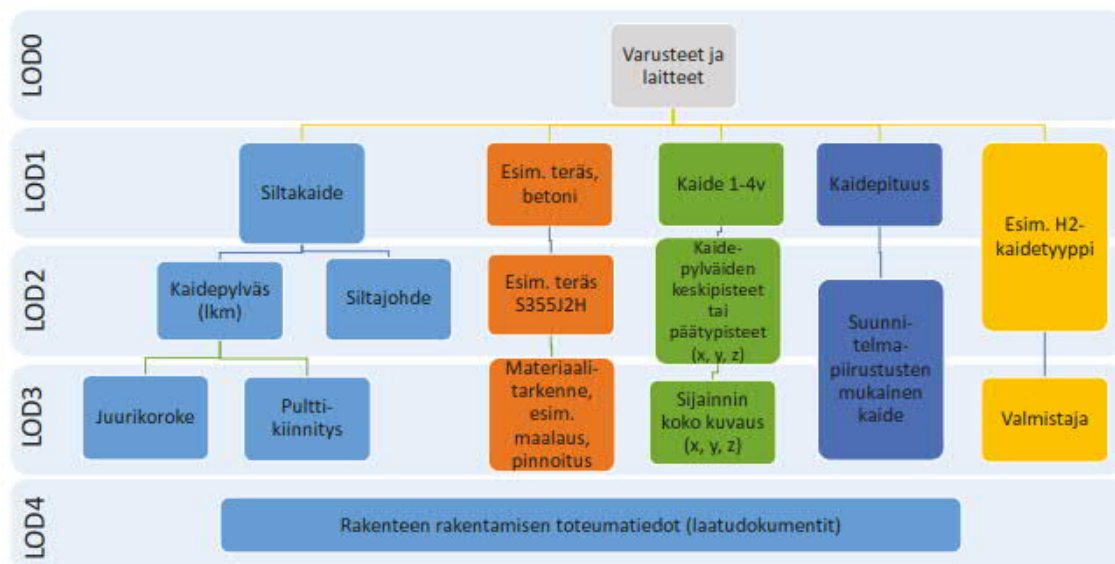
Simplebimin ja Excel-validointipohjan käyttäminen tietosisällön karsimiseen toimi pääsääntöisesti hyvin. Joissain tapauksissa hierarkiassa ylemmille kokoonpanotasoin tulos tui tietoa alemmilla tasoilta. Validointipohjalla onnistuu vain elementtitasojen mukainen tiedon karsiminen, validointi ja lisäys, joten näissä tilanteissa korjaukset tehtiin manuaalisesti suoraan Simplebimissä yksinkertaisesti pyyhkimällä arvo pois. Poistetun arvon tilalle tulee merkintä ”no value”. Tällaiset arvot eivät siirry lopulliseen Simplebimissä tehtyyn IFC-tulosteeseen.

#### 4.3.4 Mallinnustarkkuuden karsiminen

Keskeiseksi parannuskohdaksi malleissa muodostui mallinnustarkkuus. Case-kohteina käytettävissä tietomalleissa oli suuri määrä yksittäisiä objekteja, jotka IFC:hen tulostettaessa vaikeuttivat mallin tietosisällön selaamista IFC:n tarkasteluohjelmistoissa. Erityisen paljon objekteja oli varusteiden ja laitteiden osissa. Tutkimuksessa tehtiin rajanveto sen mukaan, että kaikki osat, joista on saatavilla tyyppipiirustus, jonka mukaan ne voidaan valmistaa ja asentaa, mallinnetaan pienemmällä määrällä yksityiskohtia. Mallinnustarkkuuteen on otettu osittain kantaa myös Siltojen tietomalliohjeessa (Liikennevirasto 2014a s.25-26). Mallinnustarkkuutta käsittelevissä kappaleissa mainitaan geometrinen mallinnustarkkuus, jolla viitataan mallinnettujen osien tai osaryhmien 3D-tarkkuuteen eli näkykö pulttiryhmässä jokainen pultti, mutteri ja aluslevy erikseen vai onko näiden tilalla vain yksi suorakaiteen muotoinen tilavarausobjekti. Tämän tutkimuksen case-kohteissa on hyödynnetty niiden lähtötason geometrinen mallinnustarkkuutta, jossa kaikki erilliset osat ovat näkyvissä.

Maria Vinter on tehnyt Liikennevirastolle tutkimusta ylläpitomallien LoD-tasoista (Level of Development/Level of Detail) diplomityössään (Vinter 2017 s. 37-39). Tätä tasoluokittelua voitaisiin osittain soveltaa siirtomallien mallinnustarkkuuteen. Siirtomallien kaikki osat olisivat lähtökohtaisesti LOD3-tasolla (kuva 29), koska rakennekuvauksen muodostaminen vaatii, että kaikki rakenneosat ovat mallinnettuina. Riippuen kuitenkin siitä, millaista tietoa objektista tarvitaan sen toteuttamiseen, yksittäisen osan geometrisen mallinnustarkkuuden minimivaatimus voisi olla LOD3.0, LOD3.1, LOD3.2 tai LOD3.3 (Vinter

2017 s. 39). Tarkkuustason tulisi olla riittävä, jotta osien sijainti voidaan määrittellä tarkasti ja tilavaraus riittävällä tarkkuudella. LOD3.0-tasolla esimerkiksi kaiteen pulttiryhmä voisi koostua vain suorakaiteen muotoisesta tilavarausobjektista ja LOD3.3-tasolla siinä olisi näkyvissä kaikki yksittäiset osat, joista se koostuu, kuten case-kohteissa.



**Kuva 29.** Tarkkuustasoesimerkki kaiteelle (Vinter 2017 s. 72).

Mallinnustarkkuuden karsiminen tehtiin liittämällä mallinnusobjektit yhteen osatasolla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että osakokonaisuuden yksittäisistä osista ei saada enää erillistä tietoa tulostettua, vaan yhtenäisen kappaleen kaikki osat sisältävät jatkossa saman tiedon. Tieto määräytyy kappaleen pääosan mukaan. Tässä on selkeä ero kokoonpanoilla tehtyihin osakokonaisuuksiin, joissa osat eivät menetä tietoaan. Kuvassa 30 on esitetty pulttiryhmän mallinnustarkkuus ennen ja jälkeen osien yhdistämisen.



**Kuva 30.** Pulttiryhmän alkuperäinen ja korjattu tarkkuus tietomallissa.

Yhdistäminen tehtiin Tekla Structuresin Added material -työkalulla. Yhdistämisen jälkeen *osien määrä tippui* 24:stä yhteen. Kuvassa 31 on esitetty IFC-mallista tehty Excel-tuloste, josta nähtävissä osien määrän väheneminen. Kääntöpuolena pulttiryhmistä tehtyjen *IFC-tulosteiden koko kasvoi* 57 kilotavusta 140 kilotavuun (noin 2,5-kertaistui). Vaihtoehtoinen tapa yhtenäisen kappaleen tekemiseen Tekla Structuresissa on ITEM-työkalu. Tällä työkalulla voidaan tuoda toisella ohjelmistolla tehtyjä muotoja Tekla Structuresiin, jossa työkalu muuntaa ne natiivimuotoon. ITEM-työkalua testattiin tulostamalla erillään olevat pulttiryhmän osat IFC- ja DWG-muotoihin ja noutamalla ne sen jälkeen takaisin tietomalliin. Myös tällä tavoin yhdistettynä pulttiryhmän koko kasvoi, kun ne tulostettiin uudestaan tietomallista.



Name	Name
Kuusioruuvi	Pulttikiinnitys 1-5 V
Matala Mutteri	
Aluslaatta	
Hattumutteri	
Aluslaatta	
Kuusioruuvi	
Matala Mutteri	
Aluslaatta	
Hattumutteri	
Aluslaatta	
Kuusioruuvi	
Matala Mutteri	
Aluslaatta	
Hattumutteri	
Aluslaatta	
Kuusioruuvi	
Matala Mutteri	
Aluslaatta	
Hattumutteri	
Aluslaatta	
Pulttikiinnitys 1-5 V	
Pulttikiinnitys 1-5 V	
Pulttikiinnitys 1-5 V	
Pulttikiinnitys 1-5 V	

**Kuva 31.** Pulttiryhmän alkuperäinen ja korjattu tarkkuus Excel-luettelona.

Osien yhdistämistä testattiin lisäksi siltapaikan rakenteilla (tie siltapaikalle, ympäristö), jotka muodostuvat kolmioverkoista. Näiden tapauksessa yhdistäminen *pienensi* koko mallin IFC-tulosteen kokoa merkittävästi. Tulostettaessa case 3 -kohde kolmioverkot erillisinä osina, tulosteen koko oli 26 005 kilotavua. Kun pinnat yhdisti, tulosteen koko tippui 17 053 kilotavuun.



Edellä mainittujen havaintojen pohjalta yhdistelyjä tehtiin useille natiivimallin osille. Yhteenvetona voidaan sanoa, että osien yhdistäminen selkeyttää siirtomallia ja helpottaa osien hierarkioiden tekemistä kokoonpanoilla, kun jokaista pulttiryhmän tai ympäristön osaa ei tarvitse enää erikseen valita. Riippuen mallinnetusta osasta, yhdistäminen voi joko kasvattaa tai pienentää mallin kokoa. Saavutettava kokonaishyöty osatason yhdistelyistä on joka tapauksessa huomattava.

## 5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen alussa tehtiin rajanveto pilotoitaville kohteille. Kohteiksi valittiin siltoja, joita rakennetaan yleisesti Suomessa ja jotka eivät ole rakenteeltaan erikoisimmasta päästä. Jatkossa pilotointiin tulisi ottaa mukaan myös teräksisiä ja liittorakenteisia siltoja, jotta havaitaan laajemmassa mittakaavassa mahdolliset ongelmat hierarkian tekotavassa. Case-kohteilla suoritettujen testien pohjalta voidaan todeta, että IFC-standardilla on mahdollista toteuttaa Taitorakennerekisterin rajapinnan hierarkia- ja tietosisältövaatimukset täyttävä siirtomalli. Uusien vaatimusten pohjalta siirtomallin vaatimukset ovat kuitenkin edelliseen verrattuna huomattavasti laajemmat, joten työmäärään on odotettavissa kasvua. Keskeisten tietomallintamisohjeiden tunteminen on lisäksi välttämätöntä. Tämän tutkimuksen tulokset ohjaavat omalta osaltaan uuden tietomalliohjeen laatimista. Niiden pohjalta tehdään myös Taitorakennerekisterin rajapinnan kehitystä. Uusien siirtomallivaatimusten täyttävien tietomallien tekemiseen laaditaan siirtomalliohjeistus, joka jaetaan suunnittelijoiden käyttöön. Case-kohteista tehdyt siirtomallit toimivat esimerkkeinä uusille vaatimuksille.

Tämän tutkimuksen kautta kehitetty toimintatapa hierarkisten siirtomallien tekemiselle, vaatii laajemman pilotoinnin useilla erilaisilla siltakohteilla ja eri suunnittelijoiden toimesta, ennen kuin sen käyttökelpoisuudesta päivittäiseen työskentelyyn voidaan varmistua. Jatkossa tutkimusta voisi laajentaa siihen suuntaan, että hierarkian tekemistä automatisoitaisiin pidemmälle, jolloin suunnittelijan työmäärää saataisiin pienemmäksi. Pohdintaa tulisi tehdä myös sen suuntaan, mikä osa sillan yhdistelmämallista (ympäristö, siltapaikan rakenteet, väylät, geotekniset rakenteet jne.) tulee olemaan siltasuunnittelijan mallintamisvastuulla. Voitaisiinko tulevia IFC-standardin laajennuksia hyödyntää niin, että suunnitteluvastuu jakautuu eri tekniikkalajien osapuolille vai tulisiko Taitorakennerekisteriin kehittää uusia rajapintoja, jotka toimivat myös muilla avoimen tiedonsiirron formateilla?

Tutkimuksessa jäi vähemmälle tarkastelulle eri mallinnusohjelmistoilla tehdyt testaukset. Myös IFC-mallien muokkaukseen käytettävistä ohjelmistoista otettiin testaukseen mukaan vain Simplebim. Suurelta osin tähän ajaututtiin projektille ja diplomityölle varattujen rajallisten tuntiresurssien puolesta. Suunnittelija voi kuitenkin itse päättää, mitä ohjelmistoja työhönsä käyttää. Lähes varmaa on, että IFC-mallien muokkaukseen käytettävien ohjelmistojen merkitys tulee jatkossa kasvamaan samalla, kun käytettävien IFC-standardien määrä eri tekniikkalajien suunnitelmissa lisääntyy.

Yksinkertaisin menetelmä tiedon siirtämiseen mallista Taitorakennerekisterin rakennekuvaukseen, voisi olla mallin tietosisällön tulostaminen tekstimuodossa. IFC-mallien tietosisältö saadaan kokonaisuudessaan tulostettua esimerkiksi Simplebim-ohjelmistolla Ex-

cel-muotoon. Tällä tavoin mallista ei kuitenkaan saataisi geometriatietoja siirrettyä Taitorakennerekisteriin ja geometriamalli jäisi muodostamatta. Tämä olisi voitu korjata niin, että rakennekuvaus ja geometriamalli muodostettaisiin eri rajapintojen kautta. Rakennekuvaus poimittaisiin tekstimuodossa ja ylläpitomallin geometriatiedot IFC-mallista. Rakennekuvauksen hierarkia voitaisiin muodostaa, kuten tässä tutkimuksessa, jo natiivimallissa tai vasta tekstieditorissa. Rakennekuvauksen ja ylläpitomallin linkittäminen tehtäisiin toisiinsa mallinnusobjektien yksilöintitunnusten kautta.

Jatkossa Taitorakennerekisteriin voitaisiin tehdä useita eri rajapintoja erilaiselle tiedolle. Yksinkertaisimmillaan tieto voi olla vain tekstiä tai kuvia. Yleisesti käytetyt tiedonsiirtoformaattit ovat tärkeitä, mutta vielä tärkeämpää on se, että siirrettävä tieto on normalisoitua. Työmaalta saatavat laatuaineistot ja toteumatiedot ovat esimerkkejä näistä tekstimuotoisista tiedoista, jotka ovat ensisijaisen tärkeitä kohteiden ylläpidon kannalta. Visuaalinen tarkastelu auttaa hahmottamaan ongelman paremmin, joten tarkastuksien yhteydessä otetut valokuvat voitaisiin liittää osaksi vaurioituneita rakenteita. Tarkastustoimintaan kehitetyllä mobiilialustaisella sovelluksella vauriot ja kuvat voidaan sitoa oikeisiin rakenteisiin jo siltapaikalla. Mikäli Liikenneviraston tie- ja rataverkostojen omaisuudenhallinnassa käytettävien järjestelmien tiedot saadaan linkitettyä Taitorakennerekisteriin, voisi kohteiden tarkastaja seurata siltapaikan liikennemääriä ja kohdistaa tarkastuksen hiljaisemmalle ajalle. Samalla tavoin korjaus- ja uusimisohjelmien suunnittelijat voivat määrittellä, milloin olisi järkevin aika tehdä siltojen korjauksia, jotta liikenteen käyttäjille aiheutuva haitta olisi pienimmillään.

Geometriamallin ympärille voitaisiin lisätä sillan ja sen ympäristön lisäksi myös muuta tietoa, kuten maalajirajoja, vesiuomia ja pohjavedenpintoja. Näiden tueksi voitaisiin viedä geotekniset tutkimukset, kuten kairausdiagrammit ja aukkolausunnot. Pohjaolosuhteille voitaisiin antaa haastavuuden mukaan merkittävyysluokitukset ja joille tiedot niiden virtausnopeuksista. Mikäli sillan tuilla tai ympäristössä on havaittu painumia tai eroosio-vaurioita, olisi näiden syiden selvittäminen helpompaa, kun ylläpitomallista voidaan nopealla tarkastelulla hahmottaa koko siltapaikan ympäristö kokonaisuutena. Taitorakennerekisterin hakutoimintojen kautta saadaan tämän avulla selville ongelmarakenteet tietyn tyyppisille siltapaikoille ja tätä kautta voidaan kehittää parempia vaihtoehtoja haastavaksi todettuihin kohteisiin. Siltapaikan ympäristön kasvillisuus jää toistaiseksi kokonaan pois siirtomalleista. Koska siltapaikan ympäristö (kasvillisuus, maastomuodot jne.) voivat muuttua paljonkin sillan elinkaaren aikana, voisi siltapaikalta otettu drone-kuvaus toimia palveluntuottajien apuna esimerkiksi tilanteissa, joissa siltapaikalle tehdään tarkastuksia. Droneilla kuvatut valokuvamallit voitaisiin liittää esimerkiksi geometriamallin taustalle.

On todennäköistä, että digitaalisen tiedon määrä tulee jatkossa kasvamaan entisestään. Koko rakennusalan tiedon normalisointi tarjoaa mahdollisuudet kaiken tiedon sidosteisuudelle. Automatisoiduilla ja validoiduilla tiedonsiirron prosesseilla saadaan karsittua välivaiheita ja vähennettyä inhimillisten virheiden määrää. Lopputuloksena saadaan aikaan optimaalinen laatu, jonka tulisi olla ainoa tavoiteltava suunta kehitykselle.

## LÄHTEET

Autodesk. Autodesk Customer Support. Haastattelu 7.6.2018.

BaTMan (2018) Extern Portal, Trafikverket. Saatavissa (viitattu: 19.11.2018): <https://batman.trafikverket.se/externportal>.

Brutus (2014) Statens vegvesen. Saatavissa (viitattu: 19.11.2018): <https://www.vegvesen.no/en/roads/Roads+and+bridges/Bridges>.

buildingSMART Finland (2018) buildingSMART Finland - Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. Saatavissa (viitattu: 30.10.2018): <https://buildingsmart.fi/>.

buildingSMART-Tech (2018) buildingSMART - International home of openBIM. Saatavissa (viitattu: 30.10.2018): <http://www.buildingsmart-tech.org/>.

BuildingSMART (2015a). Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 1. Tietomallipohjainen hanke. BuildingSMART, 17 s. Saatavissa: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf).

BuildingSMART (2015b). Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa, BuildingSMART, 44 s.

BuildingSMART (2015c). Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 5. Rakennemallit: 5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin laadintaohje, BuildingSMART, 20 s.

Helsingin kaupungin rakennusvirasto (2014). Taitorakenteiden tietomallinnusohje. Suunnitteluohje, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helsinki, 25 s. Saatavissa: [https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet\\_tietomallinnusohje.pdf](https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet_tietomallinnusohje.pdf).

Helsingin kaupunki (2014). Suunnitteluohje. Taitorakenteiden tietomallinnusohje, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helsinki, 25 s. Saatavissa: [https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet\\_tietomallinnusohje.pdf](https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet_tietomallinnusohje.pdf).

Helsinki. Helsingin kaupunki. Haastattelu 22.8.2018.

Hyvärinen J. Erikoisasiantuntija, VTT. Haastattelu 22.8.2018.

Kivimäki, T. (2018). Infra Asset Management in Norway vs Finland - BuildingSMART Finland, Saatavissa (viitattu: 19.11.2018): <https://buildingsmart.fi/3907-2/>.

Lehtinen S. Asiantuntija, Datacubist Oy. Haastattelu 16.10.2018.

Liflander, L. Asiantuntija, Trimble Oy. Haastattelu 16.10.2018.

Liikennevirasto (2011). Taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2011, Liikennevirasto, Helsinki, 229 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts\\_2011-28\\_taitorakenteiden\\_hallintajarjestelman\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2011-28_taitorakenteiden_hallintajarjestelman_web.pdf).

Liikennevirasto (2013). Siltapaikkojen luokitusohje. Liikenneviraston ohjeita 9/2013, Liikennevirasto, Helsinki, 47 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-09\\_siltapaikkojen\\_luokitusohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-09_siltapaikkojen_luokitusohje_web.pdf).

Liikennevirasto (2014a). Siltojen tietomalliohje. Liikenneviraston ohjeita 6/2014, Liikennevirasto, Helsinki, 57 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2014-06\\_siltojen\\_tietomalliohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf).

Liikennevirasto (2014b). Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje. Liikenneviraston ohjeita 21/2014, Liikennevirasto, Helsinki, 52 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2014-21\\_taitorakenteiden\\_suunnittelun\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-21_taitorakenteiden_suunnittelun_web.pdf).

Liikennevirasto (2017a). Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikenneviraston ohjeita 12/2017, Liikennevirasto, Helsinki, 46 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2017-12\\_tie\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf).

Liikennevirasto (2017b). Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot - Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2017, Liikennevirasto, Helsinki, 37 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2017-18\\_maastotiedot\\_mittausohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf).

Liikennevirasto (2018). Taitorakenteiden tiedon käsittely. Liikenneviraston ohjeita 36/2018, Liikennevirasto, Helsinki, 26 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2018-36\\_taitorakenteiden\\_tiedon\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-36_taitorakenteiden_tiedon_web.pdf).

Liikennevirasto (2018) Liikennevirasto. Saatavissa (viitattu: 22.11.2018): <https://www.liikennevirasto.fi>.

Maximo Saatavissa (viitattu: 19.11.2018): <https://www.ibm.com/fi-en/marketplace/maximo/details>.

Myllymäki, H. Silta-asiantuntija, Liikennevirasto. Tampere. Haastattelu 30.5.2018.

Parlikad, A.K. & Jafari, M. (2016). Challenges in infrastructure asset management, IFAC PapersOnLine, Vol. 49(28), s. 185-190. Saatavissa (viitattu: 2.10.2018): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316324569>.

RASTI (2018) Standardien Mind Map | RASTI-projekti. Saatavissa (viitattu: 15.11.2018): <https://rastiprojekti.com/aineisto/standardien-mind-map/>.

SFS-EN 16646 (2014). Maintenance. Maintenance within physical asset management, Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 35 s.

SFS-EN 17007 (2017). Maintenance process and associated indicators, Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 77 s.

SFS-ISO 55000 (2014). Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit = Asset management. Overview, principles and terminology, Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 45 s.

SFS-ISO 55001 (2014). Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Vaatimukset = Asset management. Management systems. Requirements, Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 33 s.

SFS-ISO 55002 (2014). Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta = Asset management. Management systems. Guidelines for the application of ISO 55001, Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 71 s.

Simplebim (2018) Datacubist. Saatavissa (viitattu: 27.10.2018): <http://www.datacubist.com/benefits/>.

Sonninen A. Asiantuntija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Haastattelu 26.9.2018.

SOSI (2018) SOSI-Standard in English, Kartverket. Saatavissa (viitattu: 19.11.2018): <https://www.kartverket.no/en/geodataarbeid/SOSI-Standard-in-English/SOSI-Standard-in-English/>.

Statsbygg (2013). Statsbygg Building Information Modelling Manual. Version 1.2.1, Statsbygg, Oslo, 98 s. Saatavissa: <https://www.statsbygg.no/files/publikasjoner/manualer/StatsbyggBIM-manual-ver1-2-1-eng-2013-12-17.pdf>.

Taitorakennerekisteri (2018) Extranet, Liikennevirasto. Saatavissa (viitattu: 28.10.2018): <https://extranet.liikennevirasto.fi/trex/#/>.

Tantarimäki N. Palvelupäällikkö, Solita Oy. Haastattelu 16.10.2018.

Tekla BIMsight (2018) Trimble. Saatavissa (viitattu: 27.10.2018): <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-bimsight>.

Tekla Structures (2018) Trimble. Saatavissa (viitattu: 27.10.2018): <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>.

Trafikverket (2014). Strategi för BIM i Trafikverket. Version 1.0, Trafikverket, 6 s. Saatavissa: <http://trvdokument.trafikverket.se/Versioner.aspx?spid=2878&dokumentId=TDOK%202013%3a0688>.

Travikverket. Ruotsin Liikennevirasto. Haastattelu 31.8.2018.

Vegvesen. Norjan Liikennevirasto. Haastattelu 5.10.2018.

Vinter, M. (2017). Tietomallinnuksen hyödyntäminen siltojen ylläpidossa, Aalto-yliopisto, 97 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/opin\\_2017-03\\_tietomallinnuksen\\_hyodyntaminen\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/opin_2017-03_tietomallinnuksen_hyodyntaminen_web.pdf).

Wang, X., Yang, H. & Zhang, Q. (2015). Research of the IFC-based Transformation Methods of Geometry Information for Structural Elements, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 79(3), s. 465-473. Saatavissa (viitattu: 14.11.2018): <https://search.proquest.com/docview/1774957099>.